

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ОПЛАТЫ «УЧАСТИЕ В ПРИБЫЛЯХ» НА РЕЧНОМ ТРАНСПОРТЕ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.С. Овсянников, Н.А. Килина

RESEARCH OF POSSIBILITY OF APPLICATION OF A PAY SYSTEM «PARTICIPATION IN PROFITS» ON RIVER TRANSPORT

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.S. Ovsyannikov, N.A. Kilina

Determination and the economic maintenance of market, progressive system «Participation in profits», applied in the countries with the developed market economy for payment of workers is made. Merits and demerits of this system are revealed, possibility of application of the given system for payment of the managerial personnel of river transport is proved.

Keywords: «Participation in profits», system merits and demerits, application possibility, market economy, a salary, a financial incentive, coefficient «Participations in profits»

Дано определение и экономическое содержание рыночной, прогрессивной системы «Участие в прибылях», применяемой в странах с развитой рыночной экономикой для оплаты трудящихся. Выявлены достоинства и недостатки этой системы, доказана возможность применения данной системы для оплаты руководящих кадров речного транспорта.

Система «Участие в прибылях» носит такое странное и архаичное название, которое согласно правилам русского языка должно быть заменено на «Участие в прибыли»; однако название этой системы осталось исторически старым и в наше время, подчеркивая тем самым широкое применение этой системы в дореволюционной России (до 1917 г.) в деятельности купечества, зарождающегося российского бизнеса и банковской структуры, которые были все ликвидированы большевиками как чуждые пролетариату эксплуататорские классы и вместе с ними систему «Участие в прибылях».

В настоящее время в России идет возрождение национальных традиций в сфере ведения бизнеса, поэтому и сохранилась старое название этой системы.

По системе «Участие в прибылях» принято оплачивать труд высшего руководства организации, руководителей, высший менеджмент, топ-менеджеров.

Это обстоятельство обусловлено важной ролью указанной категории работников в управлении рыночным производством, ответственностью и сложностью их труда. Если сравнить предприятие с организмом человека, то эти работники являются головой, мозгом предприятия, в то время как, например, специалисты, служащие и рабочие являются исполнителями – руками и ногами этого организма, что значительно проще.

Эту категорию управленческих работников принято называть современным термином «топ-менеджеры», подчеркивая тем самым их высокую квалификацию, креативность и пассионарность, способность к творчеству и созданию новых бизнес-проектов и экономических маневров, позволяющих из убыточных предприятий сделать процветающие, обеспечить высокую норму прибыли и поднять эффективность производства.

В тоже время топ-менеджеры организации находятся в двусмысленном положении.

С одной стороны, они являются руководителями трудового коллектива предприятия, осуществляют прием, оплату и увольнение работников, производят модернизацию, реструктуризацию и диверсификацию производства, а также ряд трудоемких и интеллектуально сложных экономических построений и коммерческих конструкций. В этом отношении их труд носит все характерные черты ответственного, интенсивного, тяжелого, опасного и вредного умственного труда. В этом случае в глазах всех членов трудового коллектива они являются и по праву наделены всеми атрибутами власти и правами работодателя.

С другой стороны, они являются наемными работниками, принятыми на работу на определенный срок по трудовому договору владельцами предприятия, учредителями, собственниками, различными вышестоящими организациями, как юридическими, так и физическими лицами. Например, генеральный директор любого Открытого Акционерного Общества (ОАО), наиболее широко распространенной формой собственности организации в России, нанимается на работу по конкурсу на определенный срок, после истечения которого (4-5 лет) может быть не избран на следующий срок и уволен. В лучшем случае он пополняет ряды рядовых специалистов своего же предприятия.

Указанная двойственность трудовых функций топ-менеджеров порождает у них неуверенность в завтрашнем дне и их личной судьбе, что подталкивает к использованию своего временного административного и директорского ресурса для личного обогащения, созданию резерва денежных средств на проживание и существование после окончания срока работы генеральным директором, стремлению различными путями, в том числе не исключая криминальных: осуществлять рейдерство, захват управляющего пакета акций предприятия, организовывать заказные убийства и т.п. для обеспечения своего дальнейшего управления предприятием.

Перевод топ-менеджеров с повременной-премиальной системы оплаты труда на систему «Участие в прибылях» позволяет свести практически до нуля и нивелировать эти негативные тенденции, поскольку по своему экономическому смыслу и содержанию эта рыночная система оплаты в какой-то мере ставит топ-менеджеров на место их работодателей – собственников и разрешает им частично играть роль владельцев и учредителей.

Система «Участие в прибылях» позволяет приблизить по уровню доходов топ-менеджеров к собственникам предприятия, что материально и психологически позволяет им чувствовать себя более комфортно, поскольку собственники в какой-то мере и на определенный срок, уравнивают экономические права топ-менеджеров с собой.

Известно, что доходы собственников и их заработная плата, если так можно выразиться, формируются из чистой прибыли, львиную долю которой они забирают себе путем выплаты дивидендов по акциям предприятия или простым отъемом чистой прибыли в свою пользу. Напомним, что собственники владеют большим количеством акций, что обеспечивает им возможность полномочного управления предприятием.

Осуществляя оплату труда топ-менеджеров, собственники ставят их как бы в один ряд вместе с собой, делятся с ними частью чистой прибыли, поскольку топ-менеджеры являются главными ее создателями и своим трудом максимально влияют на ее образование.

Система «Участия в прибылях» предполагает начисление заработка в форме суммы двух слагаемых, из которых первое является условно-постоянной величиной и отражает гарантированный минимум заработной платы, а второе – переменной частью, выражающейся в виде материального поощрения.

$$Z_{\text{раб}} = D_0^{\text{гар}} + П_{\text{поощр.}}$$

где $D_0^{\text{гар}}$ – гарантированный должностной оклад топ-менеджера, руб.;

$П_{\text{поощр.}}$ – сумма ежемесячного материального вознаграждения, руб.

Установление гарантированного должностного оклада для топ-менеджера есть осуществление функций его социальной защиты при возникновении на предприятии объективных неблагоприятных производственно-экономических обстоятельств. Ими может быть форс-мажор, то есть резкое и непредвиденное ухудшение экономической среды и бизнес-правил ведения производственно-хозяйственной деятельности предприятий внутри государства или глобального международного экономического изменения. Примером этого может служить экономический кризис 2009-2010 гг., который поразил страны международного экономического сообщества, не миновав и Россию.

В тоже время, должностной гарантированный оклад топ-менеджеров не должен быть большим по абсолютной величине, как правило, он составляет сумму от 5 до 10 размеров МРОТ, утвержденный правительством РФ для всех трудящихся страны. Не очень большой размер гарантированного должностного оклада устанавливается менеджеру с целью направить его энергию и трудовые усилия на зарабатывание для себя второго слагаемого – премии (бонуса) из чистой прибыли

$$D_0^{\text{гар}} = Z_{\text{мин}}^{\text{РФ}} \cdot k_{\text{гарант}}^{\text{топ-менеджер}}$$

где $Z_{\text{мин}}^{\text{РФ}}$ – минимальная заработная плата, МРОТ РФ, руб.;

$k_{\text{гарант}}^{\text{топ-менеджер}}$ – коэффициент социальных гарантий в зарплате топ-менеджера,

$$k_{\text{гарант}} = 5-10 \text{ ед.}$$

Удельный вес первого слагаемого – гарантированного должностного оклада обычно не превышает 20-25% его общего заработка.

Более значительную по величине сумму в структуре общего заработка топ – менеджера составляет по удельному весу материальное поощрение, которое добавляется к гарантированному должностному окладу (75-80% для успешно работающего предприятия).

По своей смысловой направленности именно материальному поощрению отводится роль мощного экономического стимула, заставляющего работника не снижать своей производительности и творческой инициативы в повышении эффективности производства.

Материальное поощрение, или ежемесячная премия в виде «Участия в прибылях», по своему размеру зависит от суммы чистой прибыли предприятия и в силу этого может быть очень большим, а также не быть вовсе, поскольку чистая прибыль есть итог производственно-хозяйственной деятельности предприятия за прошедший месяц и даёт интегральную оценку трудовых усилий коллектива в целом.

$$П_{поощр.} = \frac{П_{ч}^{рук} \cdot K_{приб}}{100},$$

где $П_{ч}^{рук}$ – часть чистой прибыли предприятия, направленная на оплату топ-менеджеров, руб.;

$K_{приб}$ – коэффициент «Участия в прибылях», %,

$$П_{ч}^{рук} = \frac{\gamma_{рук} \cdot П_{ч}}{100};$$

$\gamma_{рук}$ – доля чистой прибыли, направленная на оплату топ-менеджеров, %.

Указанная доля прибыли для топ – менеджеров устанавливается эмпирическим путем, анализируя ежемесячные итоги производственно – хозяйственной деятельности предприятия и гибко корректируя значения этого удельного веса для достижения, в конечном итоге, его оптимального значения. Опыт зарубежных и отечественных предприятий позволяет рекомендовать примерное значение $\gamma_{рук} = 20-25\%$.

Для других категорий работников предприятия доля прибыли, идущая на оплату их труда, приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение общей чистой прибыли предприятия

Категория работников	Удельный вес γ , %
Топ-менеджеры (руководители I и II рангов)	20-25
Специалисты и служащие	5-8
Рабочие основного и вспомогательного производства	10-15
Прочие направления стимулирования (единовременная помощь, выслуга лет, внедрение новой техники и т.п.)	1,0-1,5
Отчисления в фонд накопления	5-8
Отчисления собственникам предприятия (учредители, владельцы и т.п.)	40-50

Чистая прибыль предприятия

$$П_{чист} = Д - Р - Н,$$

где $Д$ – общие доходы, месячная выручка предприятия, руб;

$Р$ – общие расходы предприятия на ведение производственно-хозяйственной деятельности за месяц, руб;

$Н$ – общая сумма налогов, вносимая предприятием в федеральный и местный бюджеты, руб.

Коэффициент «Участия в прибылях» устанавливается каждому топ-менеджеру в зависимости от его места и роли в общем сценарии трудовой деятельности предприятия, так как топ-менеджеров на предприятии может быть определенное количество, образующее команду, группирующуюся при первом руководителе.

Указанный коэффициент учитывает иерархию менеджера в управленческой команде, важность и значимость его деятельности для предприятия в целом, его реальное влияние в формировании размера чистой прибыли, его конкретный трудовой вклад в создание доходов предприятия.

Значение коэффициента «Участия в прибылях» может колебаться в значительных пределах: от 5,0 до 10,0% (таблица 2). Значение этого коэффициента устанавливается для каждого топ-менеджера в управленческой команде на определенный срок первым руководителем и может при необходимости корректироваться и уточняться.

Исследования зарубежных и отечественных учёных позволили сформулировать общие рекомендации к величине указанного коэффициента. В первую очередь он должен учитывать в повышенном размере действия тех руководителей производства, которые ответст-

венны за принятие экономических и технологических решений, ошибка в которых может привести к материальному ущербу и большим негативным экономическим и социальным последствиям для предприятия.

Таблица 2 – Примерное значение коэффициента «Участия в прибылях»

Должность руководителя	Коэффициент «Участия в прибылях» $K_{приб}$, %
Первый руководитель (генеральный директор, директор, президент)	10,0
Заместитель первого руководителя (по производству, экономике, персоналу и т.п.)	7,0
Главный бухгалтер	7,5
Главные специалисты (инженер, энергетик, механик, финансист и т.п.)	6,0
Руководители структурных подразделений (начальники отделов, цехов, участков, и т.п.)	5,0

Кроме этого, при установлении размера коэффициента «Участия в прибылях» необходимо учитывать возникающее расслоение по уровню заработков между топ – менеджерами и рядовыми работниками персонала предприятия. Именно от размера их заработков начинается отсчет и обоснование заработков всех других нижестоящих работников предприятия: специалистов, служащих, рабочих основного и вспомогательного производства.

При этом следует ориентироваться на общепринятые мировые стандарты цивилизованных стран с развитой рыночной экономикой в виде расчета коэффициента децильности, коэффициента Джини, доходной зависимости Лоренца и т.п.

Эти стандарты являются практикой зарубежных фирм и наиболее развитых отечественных предприятий для всех наемных работников, что позволяет снижать социальное напряжение в трудовом коллективе и обеспечивать руководство персоналом на основе экономических законов рынка труда.

Таким образом, можно сделать вывод, что на российских предприятиях, в том числе воднотранспортных предприятиях речного транспорта, целесообразно применять систему «Участия в прибылях» для оплаты труда руководителей I и II ранга (топ-менеджеров).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Овсянников, А.С. Мотивация и оплата труда в рыночной экономике: монография / А.С. Овсянников, А.В. Давыдов, И.М. Маложон. -2-е изд. -Новосибирск: Наука, 2004. -216 с.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: «Участие в прибылях», достоинства и недостатки системы, возможность применения, рыночная экономика, заработная плата, материальное поощрение, коэффициент «Участия в прибылях»
- СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Овсянников Александр Сергеевич, докт. экон. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Килина Нелли Алековна, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»
- ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ОБЗОР РОССИЙСКОГО РЫНКА УСЛУГ В ОБЛАСТИ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

М.А. Бучельников, А.В. Панов

SURVEY OF RUSSIAN MARKET OF GIS-TECHNOLOGIES
«Novosibirsk state academy of water transport»
M.A. Buchelnikov, A.V. Panov

Survey of Russian market of GIS-technologies are present in this article.

Keywords: GIS-technology, the market services, geodesy, cartography, navigation

Дан общий обзор российского рынка услуг в сфере современных ГИС-технологий.

Одним из наиболее динамично развивающихся рынков является рынок услуг в области геоинформационных систем (ГИС) и сопряженных с ними компьютерных технологий. Сове-

менные ГИС, базирующиеся на спутниковой навигации и электронной картографии, широко используются в различных отраслях народного хозяйства и составляют неотъемлемую часть водных изысканий и транспортных систем.

В 2010 году в России свои услуги предлагают примерно 980 субъектов рынка // по данным отраслевого справочника организаций и Интернет-проектов в области геодезии, картографии, ГИС и навигации GeoTop (2010 г), а также по данным Рунета //. В это число входят и коммерческие фирмы и государственные (муниципальные предприятия) и даже подразделения органов власти, имеющие право оказывать платные услуги. На рисунке 1. представлено распределение организаций по укрупненным регионам России (федеральным округам).

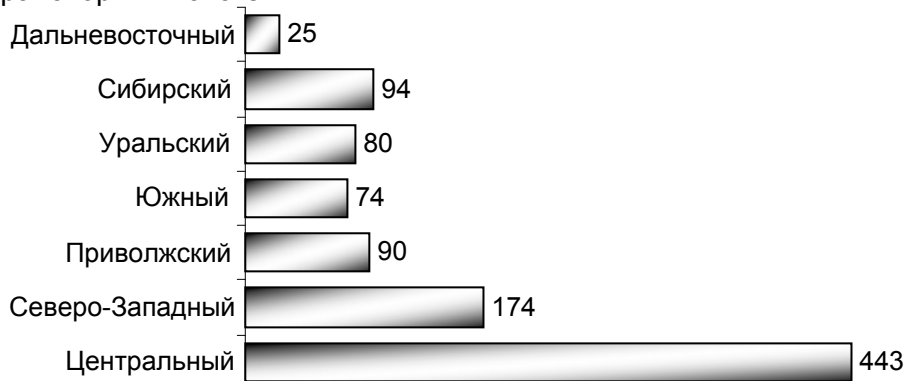


Рисунок 1 – Распределение субъектов рынка (число компаний) по федеральным округам РФ

Как видно из приведенной диаграммы, наибольший выбор услуг в Центральном федеральном округе – 443 компаний или 45% от общего количества, причем из этого числа в Москве и Московской области располагается подавляющее число организаций – 340. В одном из крупнейших по территории Сибирском федеральном округе находится только 10% компаний, а в Дальневосточном – всего 3%. Такое положение вещей может самым негативным образом сказаться на дальнейшем освоении Сибири и Дальнего Востока, замедлить развитие транспортных систем важнейших для будущего страны регионов.

Весь спектр услуг в области ГИС можно разделить на следующие категории:

1 Геодезия – организации, выполняющие геодезические работы, инженерно-геодезические изыскания и топографическую съемку, а также работающие в области маршейдерии.

2 Картография – организации, занимающиеся изготовлением географических, топографических и специальных карт и атласов; компании, работающие в области цифровой картографии и сетевых картографических сервисов.

3 Внедрение ГИС – компании, предоставляющие услуги по разработке и внедрению геоинформационных систем для различных направлений государственной, экономической и общественной деятельности; геопорталы в сети Интернет.

4 Фотограмметрия – организации, занимающиеся фотограмметрическими работами, аэрофотосъемкой, обработкой и распространением данных дистанционного зондирования Земли, аэро- и космоснимков.

5 Землеустройство – организации, работающие в сфере землеустройства, землепользования и кадастра, создания кадастровых планов и межевания; интернет-проекты, предоставляющие подобные сервисы.

6 Услуги спутниковой навигации (GPS-ГЛОНАСС) – производители и поставщики навигационного и геодезического GPS/ГЛОНАСС оборудования, навигационных систем слежения и безопасности, разработчики электронных карт для GPS.

7 Оборудование – производители и продавцы геодезического оборудования, картографической и фотограмметрической техники, а также компании, осуществляющие аренду, метрологию и ремонт оборудования.

8 Программное обеспечение – разработчики и поставщики программного обеспечения для геодезии, картографии фотограмметрии, землеустройства и ГИС.

9 Научные исследования и образование – отраслевые научные учреждения, профильные учебные заведения и компании, осуществляющие обучение.

10 Власть – правительственные органы (службы, комитеты, ведомства), осуществляющие регулирование и контроль в области геодезии, картографии, землеустройства и землепользования.

11 Общественные организации – общественные объединения (ассоциации, общества,

союзы), деятельность которых лежит в области геодезии, картографии, фотограмметрии и кадастра.

12 Информация – отраслевые средства массовой информации (журналы, газеты, Интернет-издания), отраслевые выставки и конференции, тематические Интернет-проекты (магазины, форумы, каталоги, персональные страницы).

Распределение рынка ГИС-технологий по направлениям представлено на рисунке 2.

Однако немногие компании предлагают товары (услуги), которые имеют применение на водном транспорте. Так в секторе «геодезия» водными изысканиями занимаются 9 компаний из 467. Из 324 картографических фирм услуги по судовой навигации и лоцманским картам, предоставлению информации для гидрологов предлагают только 4. Имеются предложения таких услуг, как например информационный



Рисунок 2 – Распределение рынка ГИС-технологий по направлениям (в скобках указана численность компаний по каждому из направлений)

сервис оперативного мониторинга разливов нефти, судовой и ледовой обстановки, включая ежедневную съемку спутниками RADARSAT-1, ENVISAT, LANDSAT с поставкой данных через удобный для заказчика веб-интерфейс.

Единичные компании проводят инженерные (инженерно-гидрологические) изыскания не только на суше, но и на внутренних водоемах, шельфовой зоне; выполняют комплексное обследование акваторий, подводных переходов и трасс трубопроводов и кабелей. GPS-навигаторы, пригодные для использования на судах, реализуют 9 фирм. Данная ситуация вполне объяснима специфичностью необходимых приборов и услуг.

Спектр предлагаемого в России геодезического оборудования достаточно широк. Среди приборов и инструментов преобладают электронные тахеометры и электронные нивелиры. Современные модели тахеометров имеют точность до 2", снабжены надежными безотражательными дальномерами с дальностью работы до 550 м, системой автофокусировки, лазерным центрированием, встроенным программное обеспечение с дорожными модулями, возможностью совмещения фотокамеры для получения снимков, привязанных к точке. Высокая степень влагозащиты и подогрев сенсорных дисплеев позволяют работать при температурах до минус 35° С.

Однако совсем немного фирм имеет в продаже более простое геодезическое оборудование, которое может быть успешно использовано в учебном процессе, в ходе студенческой практики, когда излишняя сложность прибора зачастую не позволяет понять саму суть того или иного метода, принципа работы, а поломка одного дорогостоящего прибора приводит к неоправданным затратам на ремонт.

Широко представлены на российском рынке приборы спутниковой навигации GPS-ГЛОНАСС, от портативных до профессиональных моделей. Как правило, современные навигационные системы, используемые в геодезии и картографии, имеют по два приемника сигнала и компьютеризированный контроллер (с операционной системой Windows CE или аналогами). Программное обеспечение контроллера позволяет не только производить необходимые вычисления, но и отправлять данные по электронной почте или по сети Интернет. Использование локальных беспроводных сетей (Bluetooth) позволило производителям отказаться от большинства соединительных кабелей и даже использовать обычные мобильные телефоны как модемы.

К спутниковым навигаторам имеется широкий выбор электронных векторных карт, на которых изображены населенные пункты Российской Федерации (как правило – крупные города), автодороги, дорожные развязки и т.п. Однако, большинство карт созданы для навигации на автомобильном транспорте, а электронные лоцманские карты практически не представлены.

Среди основных производителей геодезического оборудования можно выделить крупные европейские, американские и японские фирмы, такие как: Hexagon (шведский концерн, владеющий такими торговыми марками, как Leica, Agatec, Novatel), Nikon, Pentax, Trimble, Geobox, RIEGEL LMS, Z+F, Kubit, OHMEX, Sokkia и ряд других. В последние годы появляются геодезические приборы китайских компаний (аналоги японских образцов). Из российских производителей профессионального геодезического оборудования на рынке представлен ОАО «Российский институт радионавигации и времени».

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о достаточной развитости и высоком уровне современности российского рынка услуг ГИС-технологий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГИС-технологии, рынок услуг, геодезия, картография, навигация

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Бучельников Михаил Александрович, канд. биол. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Панов Аркадий Васильевич, заведующий лабораторией ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПОЛОЖЕНИЯ ОДНОВАГОННЫХ ОТЦЕПОВ НА ПЕРЕВАЛЬНОЙ ЧАСТИ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК В МОМЕНТ ИХ ОТРЫВА ОТ СОСТАВА

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей
сообщения»

Д.В. Осипов

**ANALYTICAL METHOD OF CALCULATION OF POSITION ONE-CARLOAD CUTS ON THE HUMP CREST OF HUMPS AT THE
MOMENT OF THEIR SEPARATION FROM THE TRAIN**

«Siberian state transport university»

D.V. Osipov

The analytical method of calculation of position one-carload cuts on the hump crest of humps at the moment of their separation from the train on the basis of joint-axial model of the car is developed

Keywords: hump, hump crest, cuts, separation cuts, analytical method

Разработан аналитический метод расчета положения одновагонных отцепов на перевальной части сортировочных горок в момент их отрыва от состава на основе шарнирно-осевой модели вагона.

Определение точки отрыва отцепов от состава является важным элементом решения задач проектирования плана и профиля спускной части сортировочной горки. В частности, положение точки отрыва влияет на определение интервалов между отцепами, времени и скорости скатывания отцепов, выбор мест размещения стрелочных переводов и тормозных позиций, а также на обоснование крутизны уклонов и радиусов сопрягающих вертикальных кривых на перевальной части горки.

Методика расчета положения точки отрыва отцепов на горбе горки существенно изменялась со сменой представлений о расчетной модели вагона при скатывании с горки. В настоящее время в открытой печати представлены и применяются на практике аналитические методы расчета, в которых за начало свободного скатывания одновагонного отцепа принимается момент, когда уклон продольной оси вагона численно превысит его суммарное удельное сопротивление движению. Такая расчетная модель отрыва вагона является несколько упрощенной и не отражает реальный процесс прохождения вагоном перевальной части горки, что приводит к появлению погрешностей при вычислениях.

Поэтому в настоящее время для определения точек отрыва вагонов от состава более широко применяется метод имитационного моделирования [1], использующий осевую модель отцепа. В данной модели отцеп рассматривается как система материальных точек, соединенных шарнирно, расстояния между которыми равны расстояниям между соответ-

вующими осями отцепа, а масса, сосредоточенная в каждой точке, равна нагрузке на вагонную ось. Шарнирно-осевая модель в настоящее время наиболее адекватно отражает реальный процесс скатывания отцепов, однако для такой модели расчет положений точек отрыва в аналитическом виде в открытой печати не представлен. Однако в отдельных случаях расчет положения отцепа в момент его отрыва от состава аналитическим методом будет предпочтительнее использования метода имитационного моделирования. Поэтому представляет интерес вывод в аналитическом виде выражения для расчета положения одновагонного отцепа в момент его отрыва в зависимости от параметров перевальной части сортировочной горки и конструкции вагона, обеспечивающего точность расчетов, сопоставимую с методом имитационного моделирования.

Для решения данной задачи используется условие отрыва отцепа на горбе горки на основании шарнирно-осевой модели, согласно которой отрыв вагона от состава происходит в момент, когда средневзвешенный уклон под осями вагона превысит значение величины суммарного удельного сопротивления движению. Учитывая, что размер базы тележки вагона на точность расчета средневзвешенного уклона влияния практически не оказывает, то для упрощения расчета целесообразно рассматривать только уклоны пути под пятниками вагона. При этом условие отрыва одновагонного отцепа от состава примет вид

$$-\frac{(i_1 + i_2)}{2} = \sum w, \quad (1)$$

где i_1, i_2 – уклоны продольного профиля пути на горбе горки под пятниками вагона, расположенные, соответственно, со стороны надвигной части и со стороны спускной части (знак «–» принимается при ускоряющем воздействии уклона на отцеп), %;

$\sum w$ – суммарное удельное сопротивление движению отцепа в момент отрыва от состава, складывающееся из величин основного удельного сопротивления движению, сопротивления движению от воздушной среды и ветра, сопротивления от стрелочных переводов и кривых, а также сопротивления разъединению автоцепки в момент отделения отцепа от состава, Н/кН.

Таблица – Аналитические зависимости продвижения одновагонного отцепа по участкам перевальной части сортировочной горки

Уравнения траектории движения пятников вагона по участкам продольного профиля горба горки, $y = f(x)$		Уравнения тангенса угла наклона касательной прямой к участкам продольного профиля горба горки под пятниками вагона, $i = y' = f'(x)$	
заднего	переднего	задним	передним
I – Участок противоуклона			
$y_1 = i_n(x - l - T_n)$, при $x - l \leq -2T_n$	—*	$i_1 = i_n$, при $x - l \leq -2T_n$	—*
II – Участок вертикальной кривой со стороны надвигной части			
$y_1 = -\frac{(x - l)^2}{2R_n}$, при $2T_n < x - l < 0$	—*	$i_1 = -\frac{x - l}{R_n}$, при $2T_n < x - l < 0$	—*
III – Участок вертикальной кривой со стороны спускной части			
$y_1 = -\frac{(x - l)^2}{2R_c}$, при $0 \leq x - l < 2T_c$	$y_2 = -\frac{(l + x)^2}{2R_c}$, при $0 < x + l < 2T_c$	$i_1 = -\frac{x - l}{R_c}$, при $0 \leq x - l < 2T_c$	$i_2 = -\frac{x + l}{R_c}$, при $0 < x + l < 2T_c$
IV – Участок скоростного элемента			
—*	$y_2 = -i_c(l + x - T_c)$, при $l + x \geq 2T_c$	—*	$i_2 = -i_c$, при $l + x \geq 2T_c$

*-вариант не рассматривается, так как при расположении пятника на данном участке отрыв отцепа от состава невозможен

Решение данного уравнения целесообразно производить, используя уравнения траектории движения пятниковых точек вагона по горбу горки, приведенные в таблице. Для этого стандартный продольный профиль перевальной части сортировочной горки, представленный на рисунке 1, разбивается на четыре участка, для которых составляются уравнения

траектории движения заднего и переднего пятников. При этом тангенс угла наклона касательной прямой к участку продольного профиля горба горки, численно равный уклону под пятниковыми точками, будет определяться через первую производную уравнений их траектории движения.

где x – координата центра одновагонного отцепа относительно вершины горки, м;

l – половина базы вагона, м;

i_n – крутизна противоуклона, ‰;

i_c – уклон скоростного элемента, ‰;

R_n, R_c – радиус вертикальной кривой, соответственно, со стороны надвижной и спускной части, м;

T_n, T_c – значение тангенса вертикальной кривой, соответственно, со стороны надвижной и спускной части, м.

В процессе прохождения перевальной части возможны четыре основных варианта расположения пятников вагона на расчетных участках в момент отрыва от состава. Наличие нескольких вариантов обусловлено многообразием возможных конструктивных параметров горок, широкой номенклатурой вагонного парка, а также разбросом значений суммарного удельного сопротивления движению отцепов.

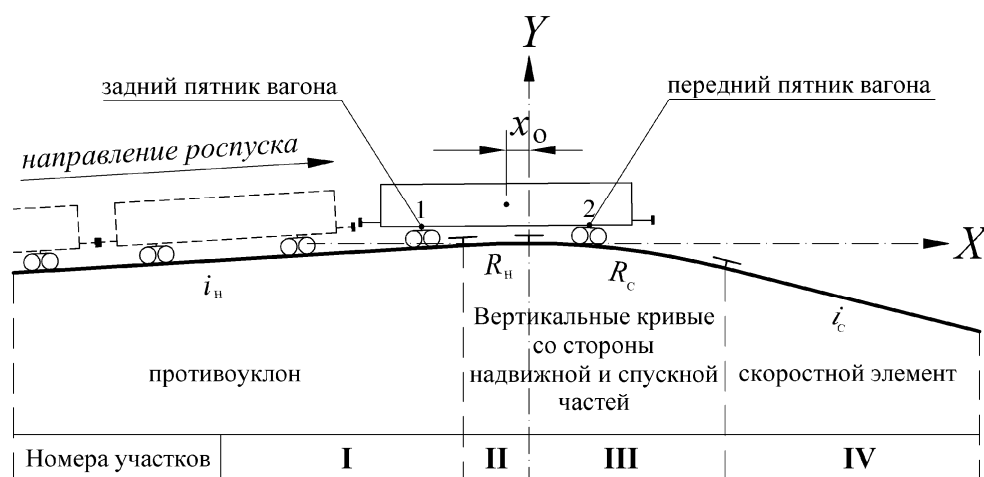


Рисунок 1 – Схема к определению уклонов под пятниками вагона на участках продольного профиля горба горки

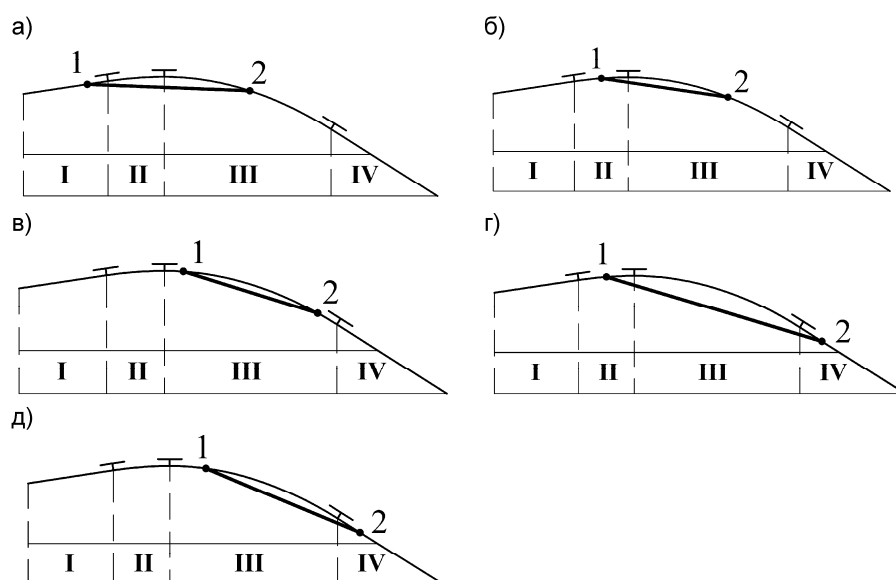


Рисунок 2 – Схемы расположения пятников вагона на горбе горки в момент отрыва одновагонного отцепа от состава

Очевидно, что для большинства горок и конструкций вагонов, в момент отрыва отцепа от состава наиболее вероятным месторасположением заднего пятника вагона будет противоуклон, а переднего пятника – вертикальная кривая со стороны спускной части или скоростной элемент, как изображено на рисунке 2а. Поэтому в первую очередь выполняется расчет координаты точки отрыва x_0 при указанном расположении

пятников. Для этого производится подстановка в выражение (1) соответствующих уравнений из таблицы 1. В результате решения этого выражения координата центра вагона в момент его отрыва от состава относительно вершины горки будет определяться по формуле

$$x_o = R_c (2 \sum w + i_n) 10^{-3} - l, \text{ если } \begin{cases} x_o \leq l - 2T_n; \\ -l \leq x_o \leq 2T_c - l. \end{cases} \quad (2)$$

Если значение x_o не удовлетворяет условиям выражения (2), то расположение пятников не будет соответствовать расчетной схеме (рисунок 2а). Поэтому, необходимо произвести расчет для схемы на рисунке 2б, для которого характерно расположение заднего пятника на вертикальной кривой со стороны надвигной части, а переднего – на вертикальной кривой со стороны спускной части, по формуле

$$x_o = \frac{2 \sum w \cdot 10^{-3} \cdot R_c \cdot R_n - l(R_n - R_c)}{R_n + R_c}, \text{ если } \begin{cases} l - 2T_n < x_o \leq l; \\ -l \leq x_o \leq 2T_c - l. \end{cases} \quad (3)$$

Такое положение наиболее характерно для короткобазных вагонов, крутых противоуклонов или больших значениях суммарного удельного сопротивления движению отцепа в момент отрыва.

Если значение x_o не удовлетворяет условиям выражения (3), то необходимо произвести дальнейший расчет для варианта на рисунке 2в. В этом случае задний и передний пятники располагаются на вертикальной кривой со стороны спускной части. Такое положение возможно при затруднении отрыва короткобазных вагонов, большом уклоне первого скоростного элемента и при высоких значениях суммарного удельного сопротивления движению отцепа в момент его отрыва. Для этого варианта (рисунок 2в) координата центра вагона в момент отрыва определяется по формуле

$$x_o = R_c \sum w \cdot 10^{-3}, \text{ если } \begin{cases} l < x_o \leq 2T_c + l; \\ -l \leq x_o \leq 2T_c - l. \end{cases} \quad (4)$$

Если значение x_o также не будет удовлетворять условиям выражения (4), то необходимо произвести дальнейший расчет для варианта на рисунке 2г. В этом случае задний пятник располагается на вертикальной кривой со стороны надвигной части, а передний – на скоростном элементе спускной части. Такое положение маловероятно и возможно при затруднении отрыва длиннобазных вагонов, а также небольшом уклоне скоростного элемента или значительном суммарном удельном сопротивлении движению в момент отрыва. Для варианта на рисунке 2г координата центра вагона в момент отрыва будет определяться по формуле

$$x_o = R_n (2 \sum w - i_c) 10^{-3} + l, \text{ если } \begin{cases} x_o > 2T_c - l; \\ l - 2T_n \leq x_o \leq l. \end{cases} \quad (5)$$

Если значение x_o и в этом случае не будет удовлетворять условиям выражения (5), то расположение пятников будет соответствовать варианту на рисунке 2д. В этом варианте задний пятник располагается на вертикальной кривой со стороны спускной части, а передний – на скоростном элементе спускной части. Такое положение наименее вероятно и возможно только при значительном суммарном удельном сопротивлении движению отцепа в момент его отрыва от состава, вызванном сильным встречным ветром или высоким сопротивлением разъединению взаимодействующих автосцепок. В этом случае расчет координаты производится по формуле

$$x_o = R_c (2 \sum w - i_c) 10^{-3} + l. \quad (6)$$

Если значение x_o , полученное по формулам (2)-(6) не удовлетворяет условиям применения этих выражений, то отрыв отцепа от состава невозможен в силу чрезвычайно большого значения суммарного удельного сопротивления движению. Это может быть вызвано ураганным встречным ветром, а также заклиниванием, залипанием или неисправностью механизма автосцепок, приводящих к невозможности их разведения.

В большинстве случаев достаточно произвести расчет координаты точек отрыва только по формуле (2), а в отдельных случаях требуется продолжить вычисление по формуле (3). Расчет по формулам (4)-(6) производится в крайне редких случаях при очень высоких значениях суммарного удельного сопротивления движению отцепам.

Полученные аналитическим методом результаты сравнивались с результатами, полученными методом имитационного моделирования скатывания вагонов с горки с использованием шарнирно-осевой модели. Сравнение производилось для различных типов вагонов, конструкций горок и при различных значениях суммарного удельного сопротивления движению в момент отрыва. Установлено, что отклонение в положениях координат точек отрыва

одновангонных отцепов, полученное аналитически и с помощью имитационного моделирования, не превысили 0,01-0,20 м. Это свидетельствует о высокой точности результатов расчета положения точки отрыва по разработанному аналитическому методу, который может использоваться для решения как прикладных, так и научно-исследовательских задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Муха, Ю.А. Автоматизация и механизация переработки вагонов на станции / Ю.А. Муха, И.В. Харланович, В.П. Шейкин. -М.: Транспорт, 1985. -248 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *сортировочная горка, перевальная часть горки, отцепы, отрыв отцепов, аналитический метод*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Осипов Дмитрий Валентинович, ст. преподаватель ГОУ ВПО «СГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*

ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
филиал ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей
сообщения»

Н.Н. Красильникова

GAME MODEL OF PROGRAMS REALIZATION OF DEVELOPMENT OF REGIONAL TRANSPORT SYSTEM

Zabaikalsky railway transport institute, branch «Irkutsk state transport university»

N.N. Krasilnikova

Process of decision-making on development of an infrastructure of a regional transport complex in game statement is brought. Productivity of an object in view is achieved by cooperation of all participants.

Keywords: regional transport system, the theory of games, coalition

Приведен процесс принятия решения о развитии инфраструктуры региональной транспортной сети в игровой постановке. Результативность поставленной цели достигается путем кооперации всех участников.

Развитие транспортной системы является одной из приоритетных задач Российской Федерации. Связано это в первую очередь с возрастающей конкуренцией международных транспортных коридоров по привлечению транзитных грузопотоков.

Развитие транспортно-логистического комплекса региона способствуют развитию производства региона, повышению уровня жизни населения и сопровождается мультипликативным эффектом [1]. При этом кроме субъектов экономики участниками инвестиционной деятельности в регионе являются административные и властные структуры, поддерживающие и развивающие социально-ориентированные и стратегические проекты. Инфраструктурные проекты, к которым можно отнести и объекты транспортно-логистического комплекса, обеспечивают благоприятную среду для экономики и населения региона. Однако привлечь ресурсы всех заинтересованных участников не всегда представляется возможным, в первую очередь из-за низкой доходности и большого срока окупаемости проектов.

Совпадение интересов участников (субъектов) в реализации программ развития региональной транспортной системы в условиях ограниченных ресурсов приводит к кооперации. Их поведение и распределение прибыли можно описать с помощью теоретико-игрового подхода [2].

Пусть $N = \{1, \dots, n\}$ - множество участников реализации программ развития РТС, S - коалиция участников $S \subseteq N$. Каждый участник i выделяет ресурс x_i для использования в реализации программ. Тогда коалиция S владеет ресурсом $C(S) = \sum_{i \in S} x_i$. Стратегии игрока i

обозначим Y_i , $y_i \in Y_i$. Тогда функцией выигрыша i -го участника в зависимости от выбранных стратегий игроков $y = (y_1, \dots, y_n)$ (реализации игры) будет $f_i(y)$.

Функция выигрыша игрока $f_i(y)$ зависит от выделенного им ресурса x_i для реализации

программ развития РТС и степени участия в них других игроков. Общий вид $f_i(y)$ в зависимости от этого можно записать следующим образом

$$f_i(y) = f_i(y_i, y/y_i) = f_i[y_i, S_i(y)],$$

где $S_i(y) = \sum_{j=1}^n x_j(y)$ – сумма средств выделяемых всеми игроками при реализации игры y .

В качестве $f_i[y_i, S_i(y)]$ – можно рассматривать IRR (Internal Rate of Return) – внутреннюю норму доходности для участника (игрока) программ развития региональной транспортной системы (РТС).

Рассмотрим пример реализации распределения ресурсов на программу (проект) развития РТС.

Пусть в регионе развивается горнодобывающая деятельность, владелец которой компания – представитель крупного бизнеса. Для перевозки продукции с мест добычи и переработки было решено строить железнодорожные линии. У компании был выбор: самостоятельно строить линию необщего пользования, либо построить дорогу общего пользования в кооперации с заинтересованными в этом железной дорогой и государством.

Обозначим частную компанию – игрок 1, железная дорога (ОАО «Российские железные дороги» ОАО «РЖД») – игрок 2, государство (инвестиционный фонд РФ) – игрок 3.

Далее для удобства изложения не будем указывать конкретную реализацию игры y то есть

$$\alpha_i = f_i[y_i, S_i(y)].$$

Рассмотрим, как будет меняться IRR α_i каждого участника при кооперации, учитывая при этом величину вложенных средств игроком в РТС.

Обозначим C – затраты ресурсов в реализацию развития инфраструктуры по проекту. Распределение ресурсов для коалиции S есть вектор $(x_1, \dots, x_n)$ такой, что $x_1 + \dots + x_n = C(S)$. Решением коалиционной игры будет являться такое распределение ресурсов $(x_1, \dots, x_n)$, которое соответствует пунктам договора, заключенного между участниками коалиции. В то же время решение игры должно удовлетворять принципу отделения, согласно которому каждый участник игры должен понести в коалиции затраты не больше, чем вне коалиции. Множество решений, удовлетворяющих условию $\sum_{i=1}^n x_i = C(N)$ и принципу отделения, называется ядром коалиционной игры.

Пусть при величине затрат x_i^1 игрок 1 в коалиции получает выигрыш α_i^1 , при других вложениях x_i^2 получает α_i^2 . Если выполняется условие $\alpha_i^1 = \alpha_i^2$, то выигрыш всей коалиции распределяется между игроками «поровну». В этом случае нарушится принцип отделения, то есть игрок в коалиции несет те же затраты, что и при индивидуальном поведении, а получает меньший выигрыш. Он «отдает» часть выигрыша игроку, который понес меньшие затраты. Такое решение не устроит игрока с затратами $x_i^2 > x_i^1$ и коалиция скорее всего не состоится, то есть такое распределение имеет пустое ядро [2].

Коалиция состоится в том случае, если

$$\alpha_i^{\min} \leq \alpha_i \leq \alpha_i^{\max} \text{ для } i = 1, 2, \dots, n,$$

где $[\alpha_i^{\min}, \alpha_i^{\max}]$ – интервал допустимых значений IRR для игроков.

Таким образом, максимальный суммарный гарантированный выигрыш участников коалиции S , при условии их оптимальных совместных действий можно представить в виде

$$A(S) = \max_{\substack{i \in S, \\ y_i \in Y_i}} \left[\min_{\substack{i \in S, \\ y_i \in Y_i}} \sum_{i \in S} f_i(y_1, y_2, \dots, y_n) \right].$$

При выборе игроком 1 (горнодобывающая компания) индивидуальной стратегии $\alpha_1 < \alpha_{\min}$, так как при этом его выигрыш будет составлять меньше минимальной величины желательного выигрыша.

При выборе игроком 2 (железная дорога) индивидуальной стратегии $y_2 \notin S$ проект для него может быть не интересен, так как выигрыш (прибыль) от проекта составит $\alpha_2 < \alpha_{\min}$. Это связано с тем, что помимо расходов непосредственно по проекту игроку 2 потребуется про-

известии усиление пропускных способностей уже существующих линий. В противном случае существующая транспортная инфраструктура не обеспечит увеличение объемов грузопотоков, связанных с вводом новых производств.

Игрок 3 может в строительство дороги вложить необходимые средства x_3 , но для этого потребуются остановить реализацию других проектов. Таким образом, существуют объективные предпосылки к кооперации участников реализации проекта развития РТС.

Пусть стоимость проекта составляет 72 600 млн. руб. три стороны заинтересованы распределить затраты между собой

$$x_1 + x_2 + x_3 = 72600.$$

Пусть при кооперации участников внутренняя норма доходности проекта будет составлять IRR 15,6%, а затраты каждого игрока $x_1 = 14900$, $x_2 = 13200$, $x_3 = 44500$. Наименьший выигрыш получает игрок 3 в виде IRR $\alpha_3 = 11\%$ на уровне ставки рефинансирования. При этом $\alpha_3 \geq \alpha^{\min}$. Выигрыш игроков 1 и 2 при участии в проекте составит 27 и 18% соответственно. После реализации проекта строительства железнодорожных линий игрок 1 имеет выход на опорную транспортную сеть региона, это позволяет ему сократить сроки доставки продукции потребителям, а отсюда и увеличить оборачиваемость своего капитала. У игрока 2 после реализации проекта увеличиваются объемы грузовых перевозок, доходы компании возрастают. Внутренняя норма доходности, для этих игроков соответствует уровню IRR крупных российских компаний, работающих в горнодобывающем и транспортном секторе.

Определим, что ядро в этой игре непустое. Докажем что наибольший показатель IRR проект имеет при объединении в коалицию всех трех участников. Для составления характеристической функции игры примем [3]:

$A(1, 2, 3) = 15,6$ – выигрыш (IRR) от проекта при кооперации всех трех игроков;

$$A(1, 2) = k_3, \quad A(1, 3) = k_2, \quad A(2, 3) = k_1,$$

где k_1, k_2, k_3 – выигрыш (IRR) от проекта при возможных вариантах кооперации двух игроков из числа трех участников.

При создании коалиций $\{1, 2\}$, $\{1, 3\}$, $\{2, 3\}$ до полной стоимости проекта не будет хватать ресурсов. Для того чтобы реализовать проект коалиции необходимо взять кредит. Минимальная ставка по кредитам в РФ, которая доступна только крупным компаниям и компаниям с безупречной кредитной историей составляет 11,7% годовых. Расчеты по проекту дали следующие результаты

$$k_3 = 1,6; \quad k_2 = 10,2; \quad k_1 = 7,6.$$

При реализации проекта одним из участников положительный результат, может быть, достигнут только у государства. Поэтому условно примем $A(0) = A(1) = A(2) = A(3) = 0$.

Для того чтобы дележ d принадлежал ядру необходимо выполнение следующих трех условий:

$$d_1 + d_2 \geq k_3; \quad d_1 + d_3 \geq k_2; \quad d_2 + d_3 \geq k_1,$$

или равнозначные

$$d_3 \leq 15,6 - k_3; \quad d_2 \leq 15,6 - k_2.$$

Из этих условий следует, что точка d должна находиться ближе к i вершине основного треугольника, чем прямая $\varsigma_i = 15,6 - d_i$.

При почленном сложении всех последних неравенств

$$d_1 + d_2 + d_3 \leq 46,8 - (k_1 + k_2 + k_3),$$

так как сумма всех координат равна 15,6

$$k_1 + k_2 + k_3 \leq 31,2.$$

Подставим значения k_i

$$1,6 + 10,2 + 7,6 \leq 31,2; \quad 19,4 \leq 30,2.$$

Данное неравенство является необходимым условием существования в рассматриваемой игре непустого ядра. Определим расположение прямых в симплексе по формуле

$$\varsigma_i = 15,6 - d_i; \quad \varsigma_3 = 15,6 - 1,6 = 14; \quad \varsigma_2 = 5,4; \quad \varsigma_1 = 8.$$

Геометрически непустое ядро данной игры является треугольником, ограниченным тремя прямыми, все точки их пересечения расположены в пределах одного симплекса дележей (рисунок 1).

Теоретико-игровой подход позволяет найти решение, при котором проект развития РТС

будет иметь наибольший показатель $IRR=15,6\%$. Достигается это путем кооперации всех участников, заинтересованных в развитии РТС. После реализации проекта увеличится рентабельность компаний игроков 1 и 2.

Развитие горнодобывающей отраслей и транспортной инфраструктуры характерно для регионов Восточной Сибири, Забайкалья и Дальнего Востока, в которых используются принципы кооперации. На основе государственно-частного партнерства строятся новые грузобразующие линии, прилегающие к разрабатываемым месторождениям.

Развитие транспортной инфраструктуры стратегических регионов (граничащих с другими государствами) входит в состав государственных целевых программ. Приграничные регионы РФ, как правило, являются высокودотационными. Поэтому государство заинтересовано в получении следующих эффектов от развития транспортно-логистического комплекса:

Социально-экономический эффект: создание рабочих мест, формирование дополнительных налоговых и неналоговых источников доходов в бюджеты всех уровней, повышение уровня жизни населения.

Геополитический эффект: активизация хозяйственной деятельности на приграничной территории.

Теоретико-игровой подход позволяет наиболее точно выразить интересы всех игроков, а реализация проектов со смешанными инвестициями повышает надежность их реализации и достижение целей.

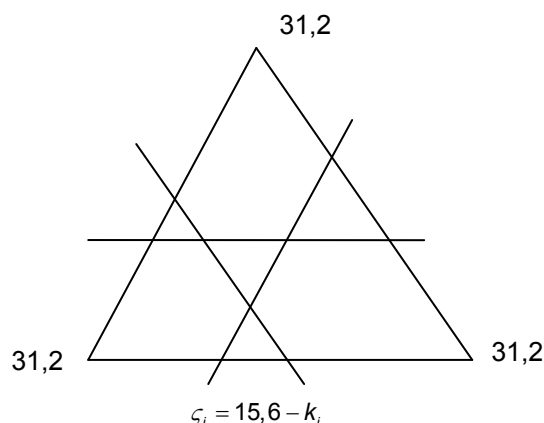


Рисунок – Симплекс $k_1 + k_2 + k_3 \leq 31,2$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Прокопьева, Т.А. Транспортно-логистическая инфраструктура: эффективность инвестиционных проектов и программ развития / Т.А. Прокопьева // Ж.-д. трансп. -2006. -№10. -С. 27-32.

2 Мулен, Э. Кооперативное принятие решений. Аксиомы и модели / Э. Мулен. -М.: Мир, 1991. -464 с.

3 Воробьев, Н.Н. Теория игр для экономистов-кибернетиков / Н.Н. Воробьев. -М.: Наука, 1985. -272 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: региональная транспортная система, теория игр, коалиция

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Красильникова Наталья Николаевна, аспирант ЗаБИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ИрГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 672040, г. Чита, пер. Магистральный, 11, ЗаБИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ИрГУПС»

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАБОТЫ АКТИВНОГО КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

ГОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»

Ю.М. Кулинич, В.К. Духовников

WAYS OF INCREASE OF PRODUCTIVITY OF ACTIVE POWER FILTER

«Far East state transport university»

Yu.M. Kulinich, V.K. Duhovnikov

The new state standard specifications of electric power consumption were considered. A compensating electric power device provides the standard electric power consumption. Configuration of compensating device was proved by results of maths and physics SIM

Keywords: compensation of reactive power, 4qS transformer, power factor, active filtering

Рассмотрены требования нового российского ГОСТ на качество потребляемой электроэнергии, а также устройство для компенсации реактивной мощности, обеспечивающее нормативные показатели

потребляемого тока. Обоснована конфигурация устройства компенсации, подтвержденная результатами математического и физического моделирования.

Развитие силовой электроники и, соответственно, рост нелинейных потребителей электроэнергии обострили проблему обеспечения качества электроэнергии из-за существенных нелинейных искажений токов и напряжений, а также общего ухудшения коэффициента мощности. Традиционно решение этой проблемы осуществлялось посредством применения пассивных фильтров и фильтрокомпенсирующих устройств. В то же время достижения силовой электроники в области создания нового поколения высокоэффективных, мощных, полностью управляемых GTO-тиристоров и IGBT-транзисторов позволяют решать эту проблему методами активного управления реактивной мощностью, включая мощность искажения.

Проблема качества электроэнергии связана с задачей энергосбережения. Известно, что при передаче в сети переменного тока, например, одного ампера реактивного тока происходят в 5-7 раз большие потери напряжения по сравнению с такой же величиной активного тока. На 80 % потери напряжения связаны с передачей по системе электроснабжения реактивной энергии. Компенсация реактивной мощности, а, следовательно, исключение этих потерь могло бы привести к повышению качества электроэнергии. Таким образом, решение проблемы улучшения качества потребляемой энергии является важной экономической задачей.

В новом российском ГОСТ 51317.3.2-99 [1] нормируются показатели качества энергии (ПКЭ), связанные не только с напряжением, но и с потребляемым током. Этим стандартом ограничена величина максимально допустимых значений гармоник тока для потребителей с током до 16 А.

Существуют несколько методов повышения качества электроэнергии. Наиболее экономически предпочтительным в настоящее время является использование устройств коррекции качества, или регуляторов одного или нескольких показателей качества электроэнергии или связанных с ними параметров потребляемой энергии. Наиболее распространенными в настоящее время являются пассивные фильтры, представляющие набор до восьми резонансных LC-цепей. Эти фильтры обладают следующими недостатками: имеют низкую добротность, что не позволяет полностью фильтровать ток; при изменении сетевой частоты они не могут менять свою резонансную частоту; в переходных режимах могут возникать явления антирезонанса, которые приводят к появлению перенапряжений и авариям в системе электроснабжения.

Развитие элементной базы силовой электроники и новых методов высокочастотной модуляции привело к созданию нового класса устройств, улучшающих качество электроэнергии, – активных фильтров (АФ).

Для уяснения принципа компенсации реактивной мощности, определяющего алгоритм управления активным фильтром, рассмотрим вначале его базовую схему включения (рисунок 1), предназначенную для формирования синусоидального по форме и совпадающего по фазе с питающим напряжением входного тока управляемого выпрямителя i . При выполнении этих условий значения $\cos \varphi$, коэффициента искажения и коэффициента мощности κ_m равны единице, что обеспечивает наилучшие энергетические показатели потребителя.

АФ, состоящий из четырехквadrантного (4qS) преобразователя, выполнен на базе IGBT-транзисторов V1–V4 и обеспечивает формирование на своем выходе тока i_a , компенсирующего отклонение формы тока нагрузки i_n от желаемой синусоидальной формы i^* , которой соответствует значение $\kappa_m = 1$.

В структуре системы управления активным фильтром необходимо сформировать сигнал, пропорциональный желаемой форме кривой тока сети $i(t) = i_p$ синусоидальной формы,

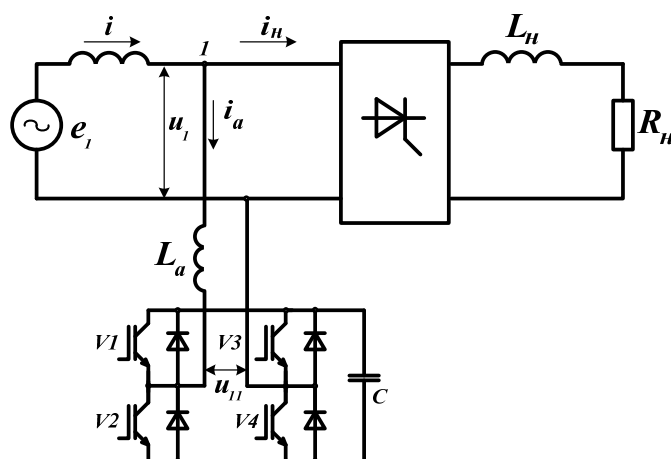


Рисунок 1 – Схема включения активного фильтра

который определяется активной мощностью P_n , потребляемой нагрузкой. Действующее значение этого тока I рассчитывается по формуле

$$I = P_n / U,$$

где U – действующее значение питающего напряжения,

$$U = U_m / \sqrt{2}.$$

Для выбора структуры активного фильтра промоделируем, например, работу неуправляемого выпрямителя, а также его работу при двух вариантах подключения к нему активного фильтра:

- ко вторичной обмотке трансформатора;
- к первичной обмотке трансформатора выпрямителя.

Результаты моделирования показаны на рисунках 2-4, а на рисунке 5 представлены результаты гармонического анализа входного тока выпрямителя. Из рисунка 2, следует, что при работе неуправляемого выпрямителя с параметрами цепи нагрузки $R_n = 5 \text{ Ом}$, $L_n = 70 \text{ мГн}$ и питающем

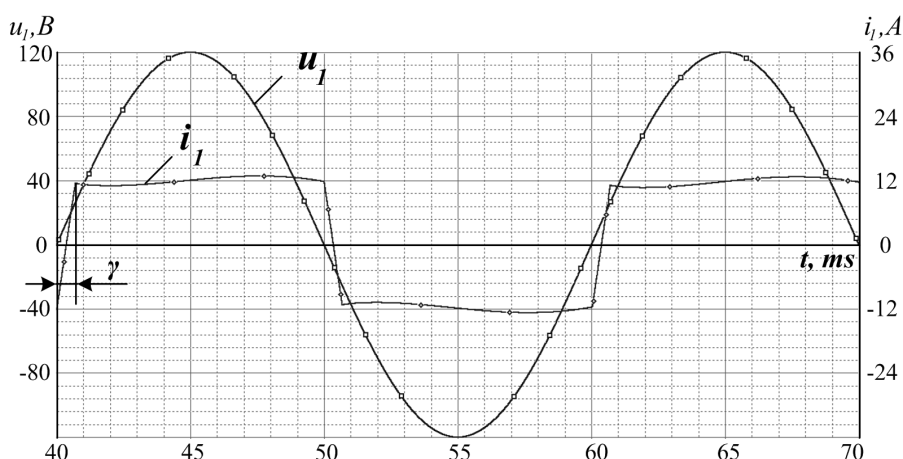


Рисунок 2 – Диаграммы входного тока i_1 и напряжения u_1 при неуправляемом выпрямителе

напряжении $u_1 = 120 \text{ В}$, потребляемый ток i_1 имеет близкую к прямоугольной форму. Гармонический состав входного тока (линия 1 на рисунке 5) отличается наличием в нем высших гармонических составляющих нечетного порядка.

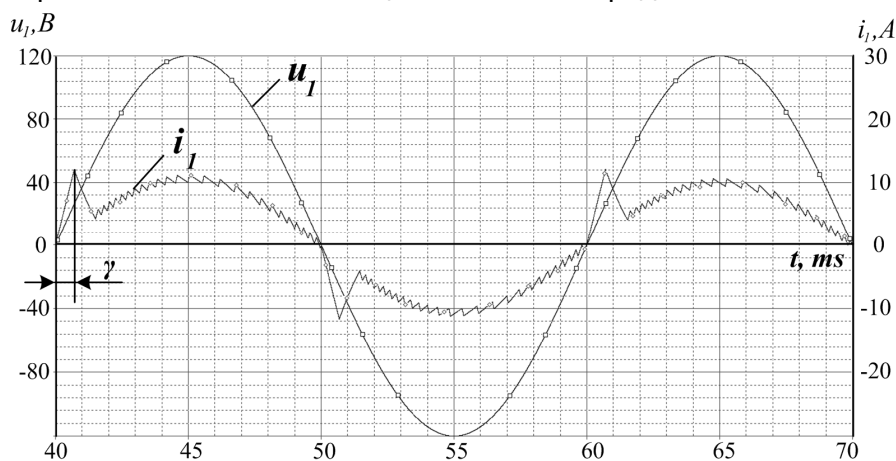


Рисунок 3 – Диаграммы входного тока i_1 и напряжения u_1 при включении АФ ко вторичной обмотке трансформатора

При подключении активного фильтра ко вторичной обмотке трансформатора наблюдается значительное улучшение формы потребляемого тока (рисунок 3), которая становится близкой к синусоидальной. Отличие от синусоиды наиболее заметно в начале каждого полупериода напряжения, когда происходит процесс коммутации вентилях выпрямителя. В это время (интервал γ) выход фильтра закорочен цепью

двух коммутируемых вентилях. Из-за этого в выходной цепи активного фильтра протекает ток короткого замыкания, ограниченный только параметрами согласующей индуктивности L_s . После окончания коммутации ток сети i_1 через некоторое время приближается к синусоидальной форме. При этом в нем остаются высокочастотные пульсации, связанные с работой активного фильтра. Гармонический анализ входного тока (линия 2 на рисунке 5) преобразователя показал, что кроме преобладающей по величине первой гармоники сетевого тока 50 Гц, наблюдаются остающиеся достаточно высокими высшие гармонические составляющие тока. Их появление объясняется резким отклонением от синусоидальной формы входного тока во время коммутации вентилях выпрямителя.

В случае включения активного фильтра в цепь первичной обмотки трансформатора выпрямителя (рисунок 4) потребляемый выпрямителем ток становится практически синусои-

дальным. В нем отсутствуют искажения тока, связанные с процессом коммутации в выпрямителе и остаются только высокочастотные пульсации тока, обусловленные работой активного фильтра методом δ -модуляции. Величина высокочастотных пульсаций тока определяется величиной δ и параметром согласующей индуктивности L_a . Гармонический состав потребляемого тока i_1 (линия 3 на рисунке 5) также свидетельствует о высокой эффективности работы фильтра этой конфигурации. В спектре тока практически отсутствуют высшие гармонические составляющие, благодаря чему форма потребляемого из сети тока становится синусоидальной.

При этом фаза потребляемого тока (рисунок 4) совпадает с фазой сетевого напряжения и можно говорить о достижении коэффициентом мощности значения, равного единице. Следует отметить, что включение активного фильтра приводит также к уменьшению величины входного тока. В математической модели штатная схема выпрямителя потребляет ток 12,7 А. При включении фильтра ко вторичной обмотке трансформатора происходит уменьшение входного тока до 10,98 А. Еще больший эффект наблюдается при подключении фильтра к первичной обмотке трансформатора. Величина практически синусоидального входного тока составляет 10,46 А, то есть включение компенсатора такой конфигурации позволяет уменьшить потребляемый ток на 17,6%.

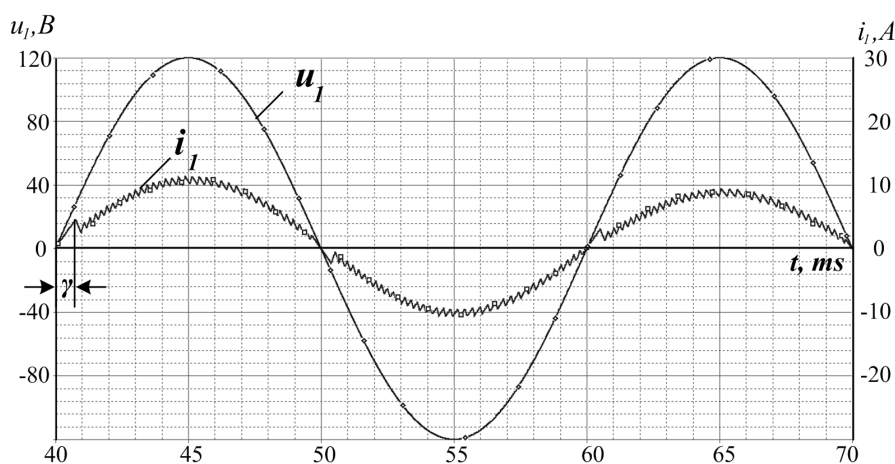


Рисунок 4 – Диаграммы входного тока i_1 и напряжения u_1 при включении АФ к первичной обмотке трансформатора

Таким образом, на основе проведенного анализа различных структур активного фильтра можно констатировать, что наиболее эффективная работа фильтра возможна в случае подключения его к первичной обмотке трансформатора выпрямителя. Такая конфигурация компенсатора является

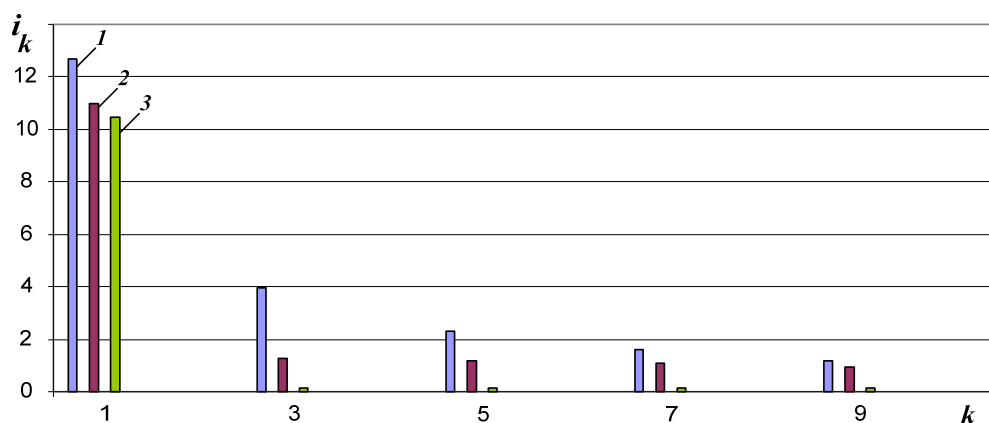


Рисунок 5 – Гармонический состав входного тока выпрямителя: 1-неуправляемый выпрямитель, 2-при подключении АФ к вторичной обмотке трансформатора, 3-при подключении АФ к первичной обмотке трансформатора

целесообразной при работе с потребителями электрической энергии напряжением 220 В. В этом случае компенсатор включается между сетью и потребителем и не требуется изменения конструкции устройства потребления энергии, связанные с внутренним подключением к ним активного фильтра. Вместе с тем, по сравнению со вторым вариантом, подключение активного фильтра к первичной обмотке понижающего трансформатора выпрямителя требует применить в схеме активного фильтра конденсаторы на более высокое напряжение. Это обусловлено тем, что для работы 4qS-преобразователя постоянное напряжение на конденсаторе должно превышать амплитудное значение сетевого напряжения. Как показывает практика, при напряжении сети 220 В для получения близкой к синусоиде формы по-

требляемого тока требуется постоянное напряжение на конденсаторе порядка 300-350 В.

На основе приведенного выше анализа конфигурации компенсирующего устройства разработано устройство компенсатора реактивной мощности [3], который подключается между сетевыми клеммами и зажимами нагрузки (рисунок 6). При этом не требуется изменять схему цепи нагрузки, поскольку нагрузка и компенсатор подключаются независимо и параллельно сети. Управление компенсатором представляет собой двухпроцессорную систему, выполненную на базе PIC-контроллеров PIC1 и PIC2. С помощью PIC1 осуществляется вычисление действующего значения тока I , потребляемого нагрузкой. Для этого на вход контроллера подаются сигналы напряжения сети (датчик напряжения ДН) и тока нагрузки (датчик тока нагрузки ДТН). Во время АЦП-преобразования в PIC1 текущие значения сигналов тока и напряжения фиксируются с помощью устройств выборки-хранения УВХ1 и УВХ2.

Рассчитанное значение тока I передается в порт контроллера PIC2, с помощью которого формируется сигнал заданного значения входного тока i^* синусоидальной формы. Для этого в память EEPROM PIC2 записана «единичная» синусоида, аппроксимированная 128 значениями. С помощью первого и второго элементов сравнения ЭС1, ЭС2 осуществляется сложение и вычитание соответствующих сигналов токов. Сигнал заданного значения тока компенсатора Δi через дельта-модулятор управляет переключением IGBT-транзисторов четырехквадрантного преобразователя (4qS), который формирует ток компенсатора.

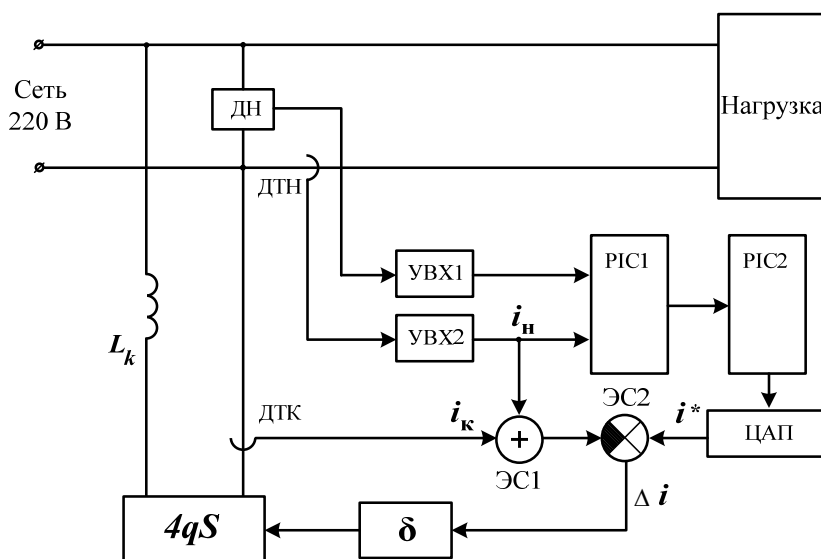


Рисунок 6 – Схема включения компенсатора

Сигнал тока компенсатора поступает на вход системы управления с выхода датчика тока компенсатора ДТК. Кроме этого, с помощью первого контроллера PIC1 дополнительно производится вычисление текущего значения мощности и коэффициента мощности, которое отображается на двухстрочном матричном индикаторе, установленном на передней панели компенсатора (на рисунке 6 не показан).

Устройство компенсатора реактивной мощности монтируется в щиток размерами 30×35×10 см, выпускаемый фирмой АВВ. Вес устройства компенсатора не превышает 2 кг. Оно удостоено серебряной медали на международной выставке-конгрессе (10-13 марта 2009 года Санкт-Петербург) «Высокие технологии, инновации, инвестиции» в номинации «Лучший инновационный проект в области энергосберегающих технологий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ Р 51317.3.2-99 (МЭК 61000-3-2-95). Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). -М.: Изд-во стандартов, 1999.

2 Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник / Л.А. Бессонов. -10-е изд. -М.: Гардарики, 2000. -638 с.

3 Пат. №2383984, МПК 7 Н 02 J 3/18. Устройство для компенсации реактивной мощности / Кулинич Ю.М. -Опубл. 10.03.10, Бюл. №7.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: компенсация реактивной мощности, 4qS-преобразователь, коэффициент мощности, активная фильтрация

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кулинич Юрий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «ДВГУПС»
Духовников Вячеслав Константинович, аспирант ГОУ ВПО «ДВГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 680000, г. Хабаровск ул. Серышева, 47, ГОУ ВПО «ДВГУПС»

ЯКУТИЯ И СТРАТЕГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ. ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.Г. Панова

YAKUTIA AND STRATEGIC DEVELOPMENT OF NORTHERN SEA ROUTE. LEGAL BASIS OF THE CONCEPT OF DEVELOPMENT OF NORTH SEA ROUTE

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.G. Panova

The article deals with the history of development and exploration of the Northern Sea Route, as well as prospects and legal base of development and use of the Northern Sea Route.

Keywords: north, sea, road, concept, especially

Рассмотрены вопросы истории развития и освоения северного морского пути, перспективы и правовые основы концепции развития и использования северного морского пути.

Для республики Саха (Якутия) расположенной на Северо-Востоке России, занимающей территорию свыше 3 млн. км² пути сообщения и транспорта играли и играют ключевую роль для обеспечения жизнедеятельности.

Существующая транспортная система и пути сообщения не отвечают потребностям народнохозяйственного комплекса в настоящее время и является серьезным тормозом и ограничением для его развития в будущем.

Возможности межрегионального обмена осложнены не только географически удаленным положением Республики от основных промышленных центров, рынков сбыта продукции базовых отраслей и центров зарождения товаров для республиканских нужд, но и оторванностью от опорной сети важнейших транспортных магистралей России.

Дореволюционный период. В конце 15 века в начале 16 века был проложен морской путь вокруг Скандинавского полуострова. В 1494 году русский дипломат Дмитрий Зайцев впервые прошел морем вокруг Скандинавии к устью Северной Двины. В 1496 году этот же путь прошел посланник Ивана III московский дьяк Григорий Истома. Первый проект северного морского пути составил Дмитрий Герасимов. Родился Дмитрий Герасимов в 1465 году, происходил из мелкопоместных дворян. Обучался в Швеции, Дании, Пруссии и Риме. Совместно с Паолом Джювией в 1525 году была опубликована книга «Книга о посольстве Василия, великого государя московского к Папе Клименту VII» в которой впервые были опубликованы чертежи Дмитрия Герасимова о северном морском пути. Это самые древние сохранившиеся карты Северного Ледовитого океана.

Исторически освоение Якутии было одним из приоритетных направлений развития России. Выдающиеся землепроходцы, геологи, ученые разных направлений занимались изучением Якутии.

Пётр Иванович Бекетов, родился 1600-1661 гг., поступил на службу Государеву в 1624 году в стрелецкий полк. В Сибирь был направлен в 1627 году.

В 1628 году он был отправлен енисейским воеводой к забайкальским бурятам. Бекетов справился с заданием успешней, чем его предшественник Максим Перфильев, собрал богатый ясак да к тому же стал первым человеком, преодолевшим ангарские пороги. На бурятской земле, Бекетов построил Рыбинский острог.

В 1631 году Бекетов снова послан из Енисейска в далекий поход. На этот раз во главе тридцати казаков предстояло пройти до реки Лены и укрепиться на её берегах.

Весной 1632 года казачий отряд Бекетова уже был на средней Лене и заложил острог, ставший впоследствии городом Якутском. Этот острог сыграл непреходящую роль во всех дальнейших открытиях, стал для России воротами на Дальний Восток и Аляску, в Японию и Китай.

Будучи «прикащиком» в Якутском остроге, П.И. Бекетов отправлял экспедиции на Вилюй и Алдан, основал в 1632 году Жиганск, в 1636 году – Олекминск.

В 1641 году Петр Иванович Бекетов был пожалован в боярские сыны.

Дежнёв Семен Иванович – землепроходец, казачий атаман. Службу начал в Тобольске рядовым казаком. В 1638 г. был направлен в составе отряда П.И. Бекетова в Якутский ост-

рог. Был участником первых походов по Крайнему Азиатскому Северу. Позже служил на р.Колыме. В июле 1647 г. предпринял попытку пройти на р.Анадырь морем, но встретил большие льды и вернулся. В 1648 г. предпринял плавание вдоль берегов Чукотки, открыв пролив между Азией и Америкой. Составил чертеж р.Анадырь и части р.Ануй. Автор интересных описаний путешествий по крайнему Северо-Востоку.

Дежнёв С.И. служил в Тобольске, Енисейске, Якутске. В начале 1640-х он совершил походы из Якутска в район Средней Яны и по р. Индигирке до Северного Ледовитого океана (моря Студеного). Затем С.И. Дежнёв прошел океаном до устья р.Алазеи, а в 1643 г. дошел до устья р.Колымы, где участвовал в создании Нижне-Колымского острога. В 1648 г. Дежнёв впервые в мире прошел Студеным и Анадырским морями (Северным Ледовитым океаном и Беринговым морем) от устья р.Колымы до северной оконечности Камчатского полуострова. Этим походом было доказано существование пролива, отделяющего Азиатский материк от Американского. В 1649 г. С.И. Дежнёвым был основан Анадырский острог, а затем исследованы и нанесены на карту берега р. Анадырь. Впоследствии им были совершены походы по р.Ануй в 1659 г., по низовьям р.Лены в 1662 г., по низовьям р.Оленек в 1667-1668 гг., по р.Вилую в 1669 г. В 1664-1665 гг. Дежнёв побывал в Москве, где его деятельность по исследованию Сибири получила высокую оценку. С.И. Дежнёву был присвоен чин казачьего атамана.

В Сибири атаман С.И. Дежнёв служил ещё на реках Оленёк, Вилуй и Яна. В 1665 г. Дежнёв С.И. выехал обратно в Якутск. В 1668 г. он предотвратил столкновение двух тунгусских племён на р.Оленёк, примирив их друг с другом. В Якутске Дежнёв служил до 1670 г., когда снова был послан с государевой казной в Москву, куда прибыл в 1671 г., и умер там в начале 1673 г. Был дважды женат, и оба раза на якутках. Подводя итог географическим достижениям экспедиции Алексеева-Дежнёва, можно заключить, что: обнаружив пролив между Северным Ледовитым и Тихим океанами, они доказали, что Азиатский и Североамериканский материки не соединяются; они первые плавали в Чукотском море и водах северной части Тихого океана; Дежнёв С.И. открыл Чукотский полуостров и Анадырский залив; открыл и первый пересёк Корякское нагорье, обследовал р.Анадырь и Анадырскую низменность.

Важную роль в освоении Северного морского пути сыграло основание в начале XVII в. торговой фактории и порта Мангазея в Обской губе.

Петр I придавая огромное значение освоению Севера России и развитию судоходства в этой части России положил начало работе Великой Северной экспедиции (1725-1743 гг.), в которой активно участвовали военные моряки. Были выполнены описания побережья Северного Ледовитого океана от устья Печоры до Берингова пролива, изданы 64 карты. Обобщив опыт исследований северных морей России, М.В. Ломоносов в 1763 г. представил в Адмиралтейств-коллегию проект освоения Северного морского пути. Ломоносов считал, что создание Северного морского пути приведет к усилению не только экономической, но и военной мощи России на Тихом океане. Однако предпринятая экспедицией В.Я. Чичагова в 1765-1766 гг. попытка преодолеть этот путь на парусных судах, закончилась неудачно. Даже двойная обшивка корпусов не позволяла парусникам успешно бороться со льдами.

Обобщив опыт исследования северных морей России, великий русский ученый М.В. Ломоносов в 1773 году представил в Адмиралтейскую коллегию проект освоения Северного морского пути. М.В. Ломоносов считал, что создание Северного морского пути приведет к усилению не только экономической, но и военной мощи России на Тихом океане.

С появлением паровых судов начался новый этап освоения Арктики. В 1878-1879 гг. первым за две навигации с зимовкой в Чукотском море успешно совершил сквозной проход по Северному морскому пути шведский полярный исследователь Н.Н. Норденшельд на паровой зверобойной шхуне «Вега». Большая продолжительность плавания, тем не менее, привела его к выводу о непригодности в то время Северного морского пути для коммерческого использования.

Особое место в истории освоения Северного морского пути принадлежит вице-адмиралу С.О. Макарову. Предполагая, что в восточном секторе Северного Ледовитого океана нет паковых льдов, он обосновал возможность плавания там при наличии мощного ледокола. В записке в морское министерство в 1897 г. Степан Осипович указывал, что с помощью ледоколов можно не только провести торговые суда в Арктике, но и при необходимости перевести флот в Тихий океан кратчайшим и безопасным в военном отношении путем. Именно при непосредственном участии С.О. Макарова в 1898 г. и был построен первый в мире ледокол «Ермак».

Советский период. В течение первых 20 лет советского периода стимулом к развитию освоения Северного морского пути стали экономические интересы СССР. Для изучения и освоения Северного морского пути с 1920 г. под руководством К.К. Неупкоева начал действовать Обь-Енисейский гидрографический отряд. В 1921 г. экспедиция Н.И. Евгенова произвела маршрутную опись р.Лена от Якутска до ее устья и морскую опись устьев Оленекской протоки и р.Оленек, выполнила съемку и промер бухты Тикси. Значительный вклад в изучение большинства арктических районов и подготовку Северного морского пути к регулярным морским перевозкам внесла Гидрографическая служба ВМФ. В 1923 г. Н.Н. Матусевич возглавил Северный гидрографический отряд, построивший на Новой Земле радиостанцию и обеспечивший гидрографические исследования в проливе Маточкин шар. В 1923 г. Гидрографическое управление ВМФ организовало экспедицию в северо-восточную часть Карского моря на гидрографическом судне «Таймыр», начальник экспедиции А.М. Лавров, научный руководитель В.В. Шулейкин.

Северный морской путь стал важнейшей частью экономического комплекса Крайнего Севера и связующим звеном между восточными и западными районами страны. Этот путь объединил в единую транспортную сеть крупнейшие речные артерии. Для Чукотки, арктических островов и ряда населенных пунктов побережья Красноярского края, Тюменской области и Якутии морской транспорт являлся единственным средством обеспечения массовых перевозок грузов. Значительный объем грузов шел по Северному морскому пути и для оборонного строительства в Арктике.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что богатое собрание якутских актов, представляющие особые документы Якутской приказной избы XVII века, насчитывающее 1116 столбцов. Там сосредоточены важнейшие материалы по истории русского поллярного мореплавания на северо-востоке и важнейшие материалы по истории русского полярного мореплавания на северо-востоке и востоке Сибири и русских открытий на протяжении значительной части XVII века. В фонде Якутской приказной казны содержатся документы освоения Севера, хранятся судовые дела, раскрывающие организацию Ленского речного и морского судостроения, таможенные документы, проезжие грамоты, выдаваемые при поездках из Якутска « На низ Лены и морем», на реки Яну, Индигирку, Алазею, Колыму, Анадырь. Из архивных документов удалось установить начальные и конечные даты морских плаваний, уточнить состав участников, установить перечень товаров. Ценность в том что сохранились документы по Жиганску, так как в то время Жиганск был единственной в низовьях р.Лены пристанью для морских судов.

Следует отметить, что в рукописных отделах Библиотеки Академии наук и государственной публичной библиотеки им. Салтыкова-Щедрина сохранились рукописи XVI-XVII веков северных монастырей. «Якутская приказная изба» являлась хранилищем отписок, челобитных, таможенных дел, таможенных книг. Изучение позволяет охарактеризовать социальный облик того времени и определяют источники для восстановления картины первоначального этапа освоения Якутии и северного морского пути.

В силу географической и природно-климатической специфики жизнедеятельность Республики Саха (Якутия) практически полностью зависит от завоза грузов в короткий навигационный период. Завоз грузов из других регионов Российской Федерации осуществляется по четырем направлениям: через порт Осетрово на реке Лене в Иркутской области; Северным морским путем через порт Тикси и устья северных рек – Яны, Индигирки, Колымы и Анабара; железнодорожным транспортом через ст.Беркалит-Томмот. В золотодобывающие районы Верхней Индигирки завоз грузов осуществляется автомобильным транспортом из районов Магаданской области.

Средневзвешенное плечо межрегионального транспортного обслуживания с использованием существующих возможностей речного, железнодорожного и автомобильного транспорта составляет более 4000 км, морским путем – 6500 км.

Значительны расстояния перевозок и внутри республики. Так расстояние от г.Якутска до центров улусов составляют от 70 до 4300 км, в том числе по наземным путям 800-3200 км; по водным 2000-4500 км; по воздушным линиям 840-2000 км.

Экстремальные климатические условия в сочетании со слабым развитием всесезонных наземных видов транспорта приводят к выраженной сезонности функционирования всей транспортной системы, длительности сроков доставки и большим дополнительным затратам на хранение грузов.

Более 85% территории Республики доступно с использованием водных наземных видов

транспорта только ограниченный период времени.

В среднем по Республике грузы внешнего завоза находятся в пути 270-280 суток, а с учетом времени на хранение, год и более.

Как результат, доля транспортных издержек в стоимости конечного продукта недопустимо велика и достигает по существующим сегодня предприятиям 40-70% и более, что в разы больше среднероссийской. Основная часть стратегически приоритетных инвестиционных проектов на территории Республики связана с освоением ее уникальных природных богатств и развитием минерально-сырьевого сектора, что невозможно без радикального совершенствования всей транспортной инфраструктуры и создания опорной сети круглогодичного транспорта.

В настоящее время основным видом транспорта в перевозках грузов в республике является речной транспорт. Он является основным перевозчиком грузов межрегионального и внутриреспубликанского значения в короткий навигационный период. Его доля в грузообороте транспорта республики составляет около 45%. Главной транспортной магистралью является река Лена от речного порта Осетрово до устьевоего морского арктического порта Тикси.

В состав водного транспорта республики входят: пять речных портов (Ленский, Олекминский, Якутский, Нижнеянский, Белогорский), два морских арктических порта ОАО «Тиксинский портовой порт» и ОАО «Зеленомысский морской порт», судоходные компании: ОАО «Ленское объединенное речное пароходство»; ОАО «Колымская судоходная компания»; ОАО «Янское речное пароходство»; ООО «Холдинг «Якутский речной порт» с дочерними предприятиями (ООО Судоходная компания «Якутск»; ООО Судоходная компания «Вилуй»; ООО Пассажирское управление); ООО Речной порт «Якутск»; ОАО «Арктическое Морское Пароходство». Основными водными путями республики являются реки: Лена, Олекма, Вилуй, Алдан, Колыма, Индигирка и Яна, Анабар.

Водный транспорт осуществляет перевозку основной массы грузов межрегионального обмена от входных и перевалочных баз до внутриреспубликанских, создание запасов и резервов ресурсов для жизнеобеспечения населения и нормального функционирования экономики республики, а также перевозку массовых грузов внутриреспубликанского производства.

Протяженность эксплуатируемых водных путей на территории республики составляет 21,8 тыс. км, из них обслуживаемые пути 13,6 тыс. км, обеспеченность гарантированными глубинами составляет только 9,0 тыс. км.

Флот ОАО «Арктическое морское пароходство» – 18 судов и 10 судов ОАО «Ленское объединенное речное пароходство» работают за пределами республики на Дальнем востоке и Черном море. Средний возраст судов Арктического морского пароходства 23 года, при нормативном сроке службы 22 года. Из-за технического износа и отсутствия соответствующего навигационно-гидрографического обеспечения безопасности плавания по трассе Севморпути, а также соответствующего ледового подкрепления судов, флот пароходств для работы на трассе Севморпути на протяжении 10 лет не привлекается. Эти суда эксплуатируются в основном на линии порты Приморья-порты Японии, Средиземноморские порты. Объем перевозок грузов, выполненных морским транспортом за последние пять лет колеблется в пределах 300-380 тыс. т.

Республика, географически лежащая на пересечении кратчайших путей между Европой, Азией и Америкой и обладающая колоссальным потенциалом международного и межрегионального транзита, не имеет возможностей обеспечить коммуникативные потребности собственной экономики.

Современный этап. При переходе к рыночным отношениям. С падением производства, кризисом неплатежей и другими сопутствующими этому процессу негативными факторами обострились основные проблемы хозяйственного развития севера России, в том числе и Якутии. Так в последние годы по причине недостаточных объемов финансирования федеральным бюджетом снизились гарантированные габариты и пропускная способность водных путей на реках Лена, Вилуй, Алдан, Яна, Индигирка, Колыма, Анабар, глубины составляют 70-75% от уровня ранее достигнутых значений и обеспечивающих безопасность судоходства. Не обеспечивается безопасность мореплавания на трассе Севморпути, в Западном и Восточном арктических секторах. До сих пор остается нерешенным вопрос финансирования путевых и дноуглубительных работ на указанных главных водных магистральных, арктической трассе, боковых и малых реках республики, из-за чего затруднена доставка жизненно важ-

ных продовольственных и топливно-энергетических грузов в отдаленные районы Республики.

С каждым годом все более обостряется проблема старения грузового и пассажирского флота. Неудовлетворительное состояние гидротехнических сооружений морских и речных портов республики, паромных переправ, русловыправительных сооружений на водных путях Ленского бассейна и Северного морского пути не обеспечивает безопасность плавания, существенно затрудняет судоходство, приводит к большим потерям пропускной способности берегового хозяйства и провозной способности флота.

Необходимо применение транспортных средств двойного и универсального назначения, что станет стратегической линией развития водного транспорта Республики в прогнозный период. Безопасное плавание по морским участкам якутского побережья между устьями рек Колыма, Индигирка, Яна, Лена обеспечат суда смешанного «река-море» плавания. Необходимо модернизировать и обновить систему навигационного оборудования Быковского морского фарватера, создать аварийно-спасательное подразделение для обслуживания участка Северного морского пути от Хатанги до Певека. Необходимо материально-техническое перевооружение Тиксинской и Колымской гидробаз на осуществление гидрографических работ Быковского и Колымского морских фарватеров.

Благодаря своей громадной территории Республика Саха (Якутия) становится основным коммуникационным коридором между Европой и Азией, между Северной Америкой и Азией. Значение этого фактора усиливается в связи с высокими темпами экономического развития стран Азиатско-Тихоокеанского региона.

В результате соединения Якутска с Транссибирской магистралью по железной дороге Беркалит-Томмот-Якутск будет сформирован новый вариант транзитных перевозок «Европа-Северный морской путь-река Лена-Трансиб-Азия».

Дальнейшее развитие железной дороги на восток Магадан-Чукотка-Берингов пролив-Северная Америка и на запад, через районы активного развития нефтегазового комплекса до соединения с «Севсибом» откроет возможности для наиболее полного использования транзитного потенциала Республики во внешнеторговых и межрегиональных связях.

Перспективы развития Северного морского пути могут быть реализованы только при наличии государственной поддержки и привлечения средств инвесторов.

В настоящее время разработана и принята « Концепция развития Северного морского пути (СМП) до 2015 года».

Определены принципы и основные направления стабилизации. Устойчивого развития и коммерческого использования СМП в условиях рыночной экономики с учетом транспортного обеспечения социально-экономического развития арктической зоны, охраны окружающей среды и обеспечения национальной безопасности России в Арктике.

Северо-Арктическое направление развития внешнеэкономических связей предусматривает развитие транзитных перевозок и международного судоходства по Северному морскому пути, чтобы сохранить арктический флот, научно-производственный потенциал и инфраструктуру, использовать ледоколы, в результате расширить связи между Дальним Востоком и западными регионами России, а также для осуществления экономических связей Республики Саха (Якутия) со странами Европы, в перспективе – Северной Америки.

Участие Республики Саха (Якутия) в сотрудничестве через членство в Северном форуме способствует реализации его проектов, направленных на внедрение инноваций в отрасли экономики республики, в развитие северной транспортной инфраструктуры, ликвидацию стихийных бедствий и охрану окружающей среды в Арктической зоне.

Важным моментом в возрождении и развитии Северного морского пути является совершенствование нормативно-правовой базы регулирующей его деятельность. Отдельного закона, регулирующего организационно-экономические, технико-технологические и экологические проблемы Северного морского пути нет. В настоящее время находятся в применении следующие основные нормативные правовые акты.

1 Федеральный закон «Об основах государственного регулирования социально-экономического развития Севера РФ» от 12.07.1996 г. 78-ФЗ.

2 Соглашение между Правительством РФ и правительством Саха (Якутия) о разграничении полномочий в системе управления СМП от 28 июня 1995 года.

3 Федеральный закон «О внутренних морских водах, территориальное море и прилегающей зоне РФ» от 1998 года.

4 Федеральный закон «О континентальном шельфе РФ» от 25.12 1998 года.

А так же постановления в области гидрометеорологической службе и мониторинга загрязнения окружающей среды, показывает, что изменения в правовом поле по СМП необходимы.

18 сентября 2008 года президент России Медведев Д.А. утвердил Основы государственной политики в Арктике на период до 2020 года и на перспективу. В котором указывается, что использование Северного морского пути относится к основным национальным интересам государства в Арктике. Его восстановление даст мощный импульс развитию арктических территорий и России и в целом.

22 июня 2009 года Бюро Высшего Совета Партии «Единая Россия» утвердил проект «Северный морской путь – национальная транспортная магистраль России» на базе которого планировалась разработка федеральной целевой программы.

22-23 сентября 2009 года в Санкт-Петербурге прошла Вторая международная конференция «Сентк-Петербург – морская столица России. Транспортно-транзитный капитал.» Была принята резолюция в которой отражены важнейшие вопросы транспортных коммуникаций России:

- О принятии закона «О Северном морском пути».
- О проведении в Арктике сбалансированной тарифной политики.
- О развитии инфраструктуры, реконструкции и развитии трасс тяготеющих к северному морскому пути, в том числе и Якутия.
- О необходимости обновления подвижного состава транспорта.
- О возрождении дноуглубительных работ на Нижней Лене.
- О развитии морских портов.
- О создании Спутникового информационного центра – гидрометеорология, гидрография, связь, мониторинг ледовой обстановки, экология.
- О развитии экспорта транспортных услуг.

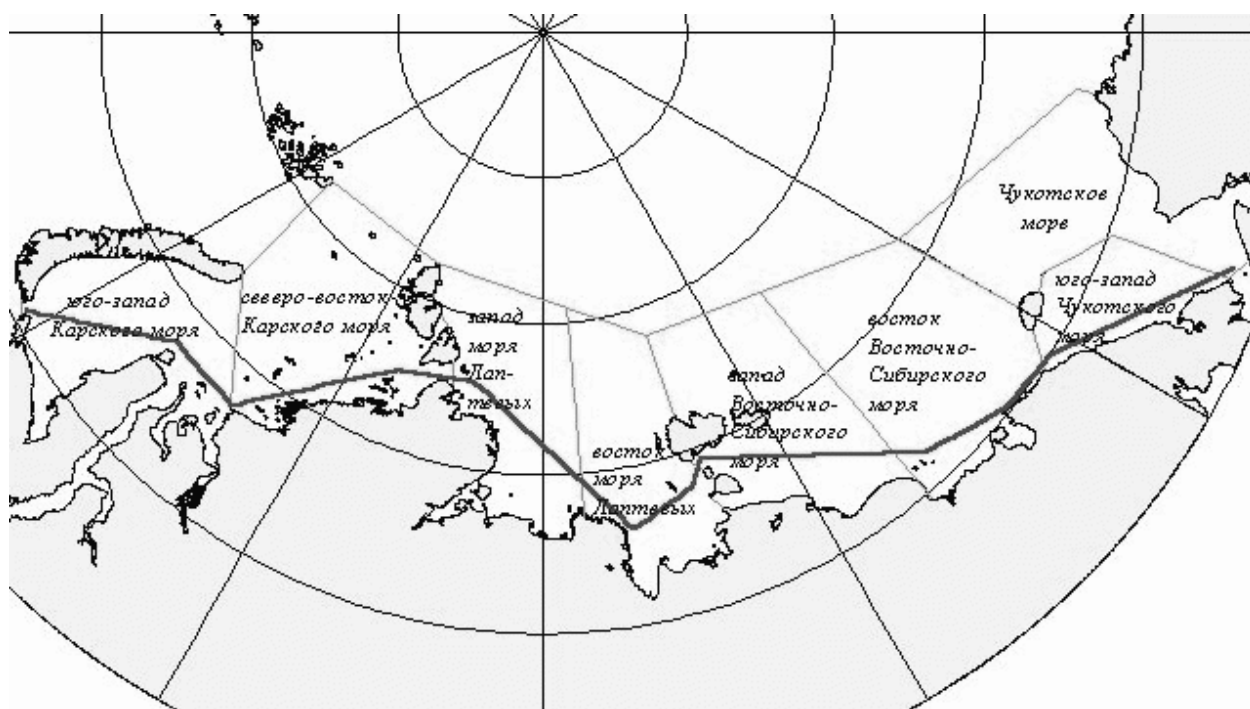


Рисунок – Схема СМП

Необходимо принятия единого закона «О Морском северном пути», где будут освещены все основные законодательные направления в этой сфере:

- укрепить статус СМП – национальная магистраль РФ в Арктике;
- предоставить государственные гарантии для лиц, работающих и проживающих в районах Крайнего Севера;
- осуществлять поддержку развития транспортных коммуникаций и морского подвижного состава;
- обеспечить надежность и регулярность поставок в труднодоступные регионы РФ;
- создать надежное навигационное и гидрометеорологическое обеспечение проводки

судов;

– сформировать правовой механизм охраны окружающей среды и пользования природными ресурсами в зоне СМП.

Северный морской путь – это единственная магистраль, связывающая все арктические и субарктические регионы России. Вместе с великими реками России СМП образует единую воднотранспортную систему (см. рисунок).

Экономическая эффективность арктической экономики неизбежна в связи с интенсивностью освоения арктического природно-ресурсного потенциала. С учетом широкомасштабных исследований арктического пространства другими странами – США, Канада, Норвегия и др., необходимо создание не только правовой базы по СМП в России, но и создание четкой законодательной базы, с учетом внешней политики России в данном регионе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: северный, морской, путь, концепция, особенности

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Панова Айталиа Геннадьевна, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГавт»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

БОЛЬШАЯ РОЛЬ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Якутский институт водного транспорта, филиал ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.Г. Панова, Н.Р. Авганов

THE GREAT ROLE OF LOW GRADE ENERGY IN REPUBLIC SAKHA (YAKUTIA)

«Novosibirsk state academy of water transport»

Yakut institute of water transport, branch «Novosibirsk state academy of water transport»

A.G. Panova, N.R. Avganov

There have been considered problems of energy and heat supply alternative systems in the regions of the Far North including Republic Sakha (Jakutia).

Keywords: energy and heat supply, power, power unit, ecology

Рассмотрены вопросы обеспечения в районах Крайнего Севера, в том числе Республики Саха (Якутия) альтернативными системами энерготеплоснабжения.

В системе РАО «ЕЭС России» действует программа «Развитие малой энергетики». Она утверждена и успешно развивается в Республике Саха (Якутия). Отказаться от старых, затратных, опасных, ненадежных, дизельных станций, заменить их оборудованием нового типа – главная цель программы в данном регионе.

На прошедшем в Санкт-Петербурге Северном форуме вопросу энергетических альтернатив для малых населенных пунктов была посвящена работа специальной секции. В работе секции было определено, что значение надежного энерготеплоснабжения в условиях Крайнего Севера трудно переоценить. Когда температура воздуха опускается до минус 50°C, а до соседнего населенного пункта десятки, а иногда и сотни километров, энергия обозначает жизнь. В настоящее время в области нетрадиционной энергетики накоплен немалый опыт работы в самых удаленных регионах России. Электростанции «Звезда Энергетика» работают в Республике Саха (Якутия), на Чукотке, в республике Коми, Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском автономном округе.

Известно, что около 70% территории России относится к районам децентрализованного энергоснабжения. Для энергообеспечения этих районов используется около 49 500 дизель-генераторных установок (ДЭС), суммарной мощностью 17 млн. кВт, вырабатывающих электроэнергии около 50 млрд. кВт·ч в год. При этом большая часть ДЭС эксплуатируется более 15 лет и нуждается в капитальном ремонте. Усредненный износ парка ДЭС электростанций, составляет более 85%.

Поэтому, в настоящее время, в северных регионах России в сфере энергоснабжения решаются прежде всего задачи устойчивого и надежного снабжения электроэнергией. На первый план также выходят вопросы снижения стоимости поставляемых электроэнергии и тепла за счет уменьшения издержек на их выработку. Для успешного решения этих задач необходим комплексный подход к решению проблем электроснабжения Севера. В первую

очередь это создание программ развития малой энергетики, обеспечивающих решение приоритетных задач в области научно-технических, экономических, социальных и других задач с четко определенными и обоснованными масштабами их применения и развития. Такие программы есть уже во многих регионах, и их поэтапная реализация постоянно набирает обороты.

Производство, поставки, строительство, и сервисное обслуживание электростанций и реализация проектов малой энергетики, обновленная система энергоснабжения должны прежде всего удовлетворять требованиям надежности и экономичности. Правительством Республики Саха (Якутия) утверждена «Программа развития малой энергетики Республики Саха», в рамках которой разработаны основные принципы модернизации существующего парка дизельной энергетики, построены и уже введены в эксплуатацию новейшие ДЭС, отвечающие всем вышеперечисленным требованиям, идет строительство новых источников энергоснабжения. На территории Республики Саха (Якутия) введены в строй две электростанции в поселках Эльдикан и Сылгы-Ытар, которых внедрены самые современные технические решения. Каждая из них автоматизирована по 3-й степени автоматизации. По проекту, Сылгы-Ытарская электростанция способна работать без вмешательства обслуживающего персонала в течение 45-60 суток. Выполненные в блочно-модульном исполнении, энергоблоки легко транспортируются на месте, устанавливаются на ровном площадке и являются незаменимыми в труднодоступных районах. Немаловажно и то, что здесь предусмотрена полная утилизация тепла. Основными элементами этих электростанций являются использовать сначала топлива для механической работы, затем – как источник тепла для генерации тепловой воды. В среднем на 100 кВт·ч электрической энергии потребитель получит 160 кВт·ч тепловой энергии в виде горячей воды (70-95 °С) для отопления и горячего водоснабжения. Это дает возможность использовать дополнительно более 50% энергии топлива, которая в обычных ДЭС. Общий КПД генератора, таким образом, достигает 88% и более. Все это позволяет рационально использовать дизельное топливо чрезвычайно дорогое в северных регионах. Экономия топлива с пуском Эльдиканской электростанции мощностью 14,9 МВт составит две трети годового потребления старой ПЛЭС.

Наряду с высокой степенью автоматизации такие станции удобны в эксплуатации. К примеру, на Эльдикансой ДЭС имеется, еще и комплекс полностью укомплектованных бытовых помещений со встроенной сауной для обслуживающего персонала, кроме диспетчерской, АСУ, мастерской с набором инструментов, бойлерной, складов.

Российские ученые и энергетики уже не раз поднимают вопрос о роли малой энергетики, как в общем энергобалансе страны, так и в обеспечении энергетической безопасности России энергетическая безопасность – это состояние защищенности граждан, общества государства. События последних лет показали существенную неустойчивость централизованных энергетических систем в обеспечении электроэнергией и теплом потребителей различного назначения. Причины этого состояния энергетики страны, – это старение основного оборудования, отсутствие необходимых инвестиций для обновления и строительства новых энергетических объектов и их ремонта, сложности со снабжением топливом.

Весьма уязвимы централизованные системы энергоснабжения и с военной точки зрения. Например, в Югославии удалось всего за двое суток вывести из строя до 70% электроэнергетических систем страны с помощью сравнительно недорогих боевых блоков, разрывающих проводящие нити или графитовую пыль. В таких ситуациях только резервные электростанции и котельные обеспечат живучесть важных хозяйственных и стратегических объектов. В свете сказанного, можно отметить, роль малой энергетики в обеспечении энергобезопасности в зонах децентрализованного энергоснабжения является определяющей. Автономные электростанции и котельные объектов малой мощности должны обеспечивать потребности этих объектов в энергии в полном объеме в режиме нормального функционирования и в минимально гарантированном объеме в критических и чрезвычайных ситуациях.

Несмотря на бурное развитие нетрадиционной энергетики, вопрос совершенствования традиционных энергоустановок, составляющих основу малой энергетики, актуален. Действительно, 96% малых электростанций – это дизельные электростанции (ДЭС). Поэтому их совершенствование – одно из центральных задач малой энергетики. В настоящее время при этом особое внимание необходимо уделять дизельным электротепловым станциям, обеспечивающих комбинированную выработку электрической и тепловой энергии. При современных отпускных ценах на дизельное топливо и природный газ, топливная составляющая стоимости электроэнергии для таких электростанций становится в 2-2,5 раза меньше, чем у

обычных ДЭС. К тому же они обладают экологическими характеристиками отвечающими мировым требованиям. По стоимости электроэнергии и срокам окупаемости малых электростанции, работающих на природном газе, способны конкурировать не только с обычными ДЭС, но и с мощными электростанциями в системе централизованного электроснабжения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энерготеплоснабжение, энергетика, энергоустановка, экология

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Панова Айталиа Геннадьевна, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАС»

Авганов Норзулло Раджабович, заведующий лабораторией ЯВКРУ, филиал ФГОУ ВПО «НГАС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАС»

677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Водников, 1, ЯИВТ, филиал ФГОУ ВПО «НГАС»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.М. Левин

MODELING OF PARAMETERS OF RELIABILITY FOR AN ESTIMATION OF EFFICIENCY OF OPERATION OF THE EQUIPMENT OF ELECTRICAL NETWORKS

«Novosibirsk state technical university»

V.M. Levin

In article the approach to modeling reliability of the equipment of electrical networks realizing opportunities of casual processes, and applied for an estimation of efficiency of operation is offered.

Keywords: operation, diagnosing, casual processes, models of reliability, emergency restoration, preventive maintenance

Предложен подход к моделированию надежности оборудования электрических сетей, реализующий возможности аппарата полумарковских случайных процессов, и применимый для оценки эффективности эксплуатации.

Недавняя авария на Саяно-Шушенской ГЭС наглядно продемонстрировала, какой может быть плата за недостаточный, некачественный контроль, несвоевременную замену изношенных агрегатов, определивших низкий уровень эксплуатационной надежности оборудования станции. Эффектом последствия явилось проведение внеплановых массовых технических освидетельствований и экспертизы промышленной безопасности объектов и оборудования электростанций и электрических сетей, которое, в частности, подтвердило, что электрические сети сегодня имеют достаточно высокий процент износа и отставание темпов замены устаревшего оборудования на новое.

Одним из способов повышения эксплуатационной надежности электростанций и электрических сетей наряду с резервированием, техническим обслуживанием и ремонтами (ТОиР) является целенаправленное управление этими процессами, то есть выбор эффективной стратегии ТОиР электрооборудования. Известен ряд способов организации (стратегий) ТОиР, среди которых наибольшее распространение получили: стратегия ремонтов по факту отказа, стратегия планово-предупредительных ремонтов (ППР), стратегия ремонтов по техническому состоянию (РТС). Вторая и третья стратегии ТОиР применимы преимущественно к восстанавливаемым объектам, к которым следует отнести практически все ответственное электрооборудование станций и сетей, включая силовые трансформаторы. Для неотвеченных видов оборудования и комплектующих с относительно не высокой стоимостью применяется стратегия по факту отказа. В ряде случаев наибольшего эффекта удастся достигнуть комбинированным использованием указанных стратегий.

Таким образом, выбор наиболее эффективной стратегии ТОиР представляет собой актуальную оптимизационную задачу, которую можно трактовать как задачу управления эксплуатационными процессами электрооборудования.

В статье предлагается подход к решению указанной задачи на основе моделирования ремонтно-восстановительных процессов оборудования электрических сетей с применением аппарата полумарковских случайных процессов [1]. Отличительной особенностью данного аппарата является то, что он применим для описания эволюции систем с возрастающей функцией интенсивности отказов

$$\omega(t) = \omega_0 + bt,$$

где ω_0 – начальное значение интенсивности отказов;

b – коэффициент, характеризующий темпы старения оборудования), так называемых «стареющих» систем, к которым следует отнести все типы оборудования электрических сетей.

Модели оценки надежности для стратегий ППР и РТС получены и исследованы в [2] применительно к силовому трансформатору. Стратегия ППР предусматривает проведение профилактических ремонтов с неизменной периодичностью T , согласно стратегии РТС профилактические ремонты проводятся по необходимости, выявляемой в процессе диагностирования с периодичностью τ .

Таким образом, эффективность той или иной стратегии ТОиР будет зависеть от соотношения затрат на профилактику оборудования для поддержания необходимого уровня надежности и затрат на ее восстановление после отказа [3]. Для получения оптимизационных затрат от периодичности профилактического обслуживания (в случае стратегии ППР) либо периодичности диагностирования (в случае стратегии РТС) рассмотрим модели обслуживания, представленные на рисунках 1 и 2. Каждая модель количественно характеризуется такими важнейшими показателями надежности, как наработка на внезапное отключение (аварийный ремонт) – T_H и на отключение с предупреждением (профилактику) – T'_H , а также соответствующие этим наработкам частоты – ω_H и ω'_H .

Наработка на внезапный отказ системы рассчитывается как среднее время пребывания процесса в области работоспособных состояний и выражается формулами (1) и (2) соответственно. В указанных формулах используются следующие обозначения:

T_D – продолжительность диагностирования;

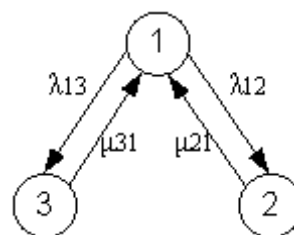
λ_{ij}, μ_{ij} – интенсивности переходов из состояния в состояние;

q_1, q_2, q_3 – вероятности исходов диагностирования,

$$(\sum q_i = 1).$$

Аналогично находится и наработка системы на профилактическое обслуживание (ремонт). Указанные наработки представляют собой монотонные функции искомой периодичности T либо τ . На рисунке 3 представлены зависимости T_H и T'_H от периодичности профилактик для кабельной линии (КЛ) 6 кВ при следующих условиях: $\omega(t) = 0,014 + 0,01t$; $T_{по} = 4$ ч; $T_{AB} = 24$ ч.

Суммарные эксплуатационные затраты электросетевой компании на интервале време-



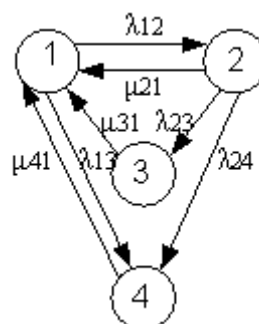
1-работоспособное состояние;

2-профилактика; 3-аварийный ремонт

$$\lambda_{12} = T^{-1}; \lambda_{13} = \omega; \mu_{21} = T_{по}^{-1}; \mu_{31} = T_{AB}^{-1};$$

$$T_H = \frac{1 + T^{-1} T_{по}}{\omega}; T'_H = \frac{1 + \omega T_{AB}}{T^{-1}}$$

Рисунок 1 – Граф состояний для системы ППР



1-работоспособное состояние;

2-диагностирование; 3-профилактика;

4-аварийный ремонт

$$\lambda_{12} = \tau^{-1}; \lambda_{14} = \omega; \lambda_{23} = q_2 T_D^{-1}; \mu_{21} = q_1 T_D^{-1};$$

$$\lambda_{24} = q_3 T_D^{-1}; \mu_{31} = T_{по}^{-1}; \mu_{41} = T_{AB}^{-1};$$

$$T_H = \frac{1 + \tau^{-1} T_D + q_2 \tau^{-1} T_{по}}{\omega + q_3 \tau^{-1}};$$

$$T'_H = \frac{1 + \tau^{-1} \cdot T_D + (\omega + q_3 \cdot \tau^{-1}) \cdot T_{AB}}{q_2 \cdot \tau^{-1}}$$

Рисунок 2 – Граф состояний для системы РТС

ни средней наработки (межремонтного цикла – ΔT) представляют собой интегральный критерий эффективности эксплуатации и могут быть выражены зависимостью

$$Z(t) = \left[\frac{C_{AB}}{C_{ПО}} \cdot \omega_H(t) + \omega'_H(t) \right] C_{ПО} \Delta T,$$

где $C_{ПО}, C_{AB}$ – средние стоимости профилактического и аварийного ремонтов руб./откл.;

$$\omega'_H = (T'_H + T_{ПО})^{-1}; \omega_H = (T_H + T_{AB})^{-1};$$

$T_{ПО}, T_{AB}$ – частоты и продолжительности профилактического и аварийного ремонтов оборудования.

На рисунке 4 представлена зависимость $Z(t)$ для стратегии ТОиР силового трансформатора 35/6 кВ по фактическому состоянию при условиях: $\omega(t) = 0,015 + 0,01t$; $\omega_d = 0,2$; $T_d = 4$ ч; $T_{ПО} = 16$ ч; $T_{AB} = 40$ ч; $C_{AB}/C_{ПО} = 5000$ руб. Минимум полученной функции удовлетворяет наиболее эффективному по надежности и суммарным затратам значению τ .

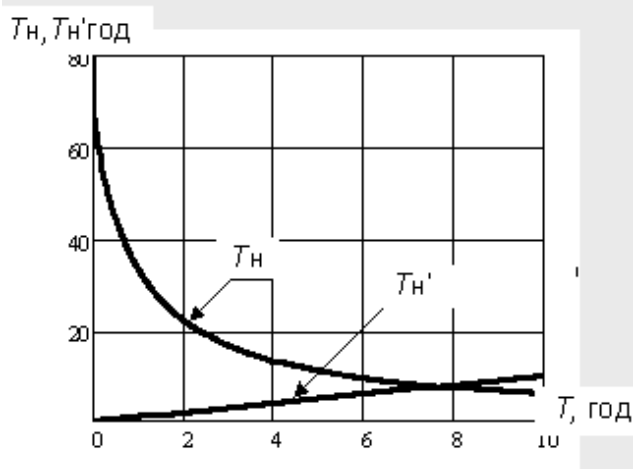


Рисунок 3 – Зависимость средней наработки на отключение КЛ 6 кВ от периодичности профилактик

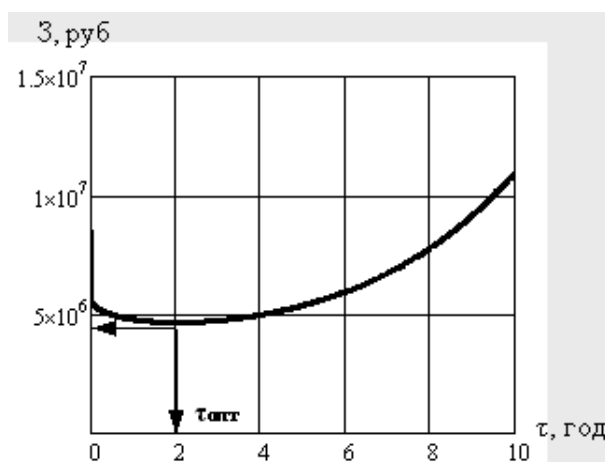


Рисунок 4 – Оптимальная периодичность диагностирования ТМН-6300/35

Предложенный подход обладает достаточной универсальностью, и применим когда случайные процессы, переводящие систему из состояния в состояние, имеют произвольный закон распределения промежутка времени между соседними событиями.

Разработанные модели позволяют рассчитать оптимальное значение периодичности профилактических воздействий для любого типа оборудования электрических сетей и произвести выбор в пользу наиболее эффективной по надежности и суммарным эксплуатационным затратам стратегии ТОиР.

Выводы:

Выбор оптимальной стратегии эксплуатации оборудования электрических сетей выполняется на основе интегрального критерия эффективности типа «затраты – надежность».

Для оценки показателей эксплуатационной надежности электрооборудования с учетом принятой стратегии ТОиР разработаны расчетные модели, реализующие возможности полумарковской аппроксимации случайных ремонтно-восстановительных процессов.

Разработанные модели и методика выбора оптимальной стратегии эксплуатации нашли практическое применение для согласования периодичности профилактических воздействий некоторых типов оборудования и ЛЭП ряда распределительных сетевых компаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Байхельт, Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен. -М.: Радио и связь, 1988. -392 с.
- 2 Левин, В.М. Оценка эффективности обслуживания оборудования электрических сетей по фактическому состоянию / В.М. Левин // Современные энергетические системы и комплексы, и управление ими: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. -Новочеркасск, 2006. -Ч.1. -С. 35-42.

З Левин, В.М. Определение экономически обоснованной периодичности диагностирования трансформаторов при обслуживании по состоянию / В.М. Левин, Д.В. Кузьмина // Материалы пятнадцатой Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность» / ТПУ. -Томск, 2009. -С. 21-23.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: эксплуатация, диагностирование, случайные процессы, модели надежности, аварийное восстановление, профилактическое обслуживание

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Левин Владимир Михайлович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ОБЩЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА НОВОСИБИРСКА

Управление пассажирских перевозок мэрии г. Новосибирска

В.И. Новоселов

INNOVATIVE DEVELOPMENT OF PUBLIC PASSENGER TRANSPORT IN NOVOSIBIRSK

Passenger transportation department of Novosibirsk city, administration

V.I. Novosylov

In the paper innovative projects of development of public passenger transport in the nearest future is analyzed.

Keywords: urban passenger transport, development, innovation

Рассмотрены инновационные проекты развития общественного пассажирского транспорта г. Новосибирска на ближайшую перспективу.

Инновационному развитию экономики в настоящее время уделяется большое внимание. Об этом неоднократно говорил президент России Медведев Д.А. Правительством принято несколько решений по этой проблеме. Аналогичные решения принимаются на разных уровнях: региональном и муниципальном. Так мэрией г.Новосибирска издано распоряжение « О мерах по реализации инновационной политики в городском хозяйстве» (№ 7707-р от 14.05.2010).

Этот документ призван упорядочить и систематизировать деятельность соответствующих учреждений, организаций и предприятий по разработке и реализации инновационных проектов. На общественном пассажирском транспорте координацию этой деятельности осуществляет управление пассажирских перевозок мэрии г.Новосибирска. Определены основные направления инновационного развития

- совершенствование городской маршрутной сети;
- техническое развитие муниципального пассажирского транспорта, подвижного состава, путевого хозяйства, тяговых подстанций и контактной сети;
- совершенствование диспетчерского управления работой подвижного состава на основе развития информационно-телекоммуникационной системы;
- повышение качества обслуживания пассажиров.

В составе первого и второго направлений предусмотрено дальнейшее развитие маршрутной сети не только традиционных видов наземного городского транспорта, но и новых видов легкорельсового транспорта. В феврале 2010 года утверждена «Концепция строительства скоростного трамвая в г.Новосибирске», которая предполагает охват практически всей территории города. Создание трех связанных между собой «колец» обеспечивающих многовариантность формирования маршрутной сети. А радиальные направления позволяют организовать регулярные пассажирские перевозки из отдельных, так называемых «спальных районов». По северному направлению это ж/м «Родники», ж/м «Снегири», южное направление ОбьГЭС и Затулинский ж/м, восточное направление Плющихинский ж/м, ж/м Ключ-Камышенское плато, западное направление продолжение Западного ж/м – Ерисинский ж/м. реализация их возможна в более отдаленном временном периоде.

Следующее важное направление – модернизация подвижного состава и его обновление. За 2009 год для муниципального наземного пассажирского транспорта общего пользования приобретено 45 ед. подвижного состава, в том числе 16 ед. автобусов (8 ед. МАЗ-226060, 7 ед. низкопольных МАЗ-206060 и 1 ед. б/у ПА3-320541) и 29 ед. троллейбусов Тролза-5275.05 с энергоэффективными тяговыми приводами. Все троллейбусы были приоб-

ретенны в рамках Федеральной программы поддержки отечественных производителей. Кроме того, за 2009 год модернизировано 10 ед. трамваев, что позволило сделать их удобнее для пассажиров, улучшить эксплуатационные характеристики и продлить срок службы.

Обновление подвижного состава в дальнейшем будет продолжено. Так в 2010 году запланировано приобретение пяти автобусов для обслуживания международных маршрутов. Работы по модернизации подвижного состава горэлектротранспорта также продолжается.

Совершенствование диспетчерского управления пассажирским перевозками и движением подвижного состава осуществляется в рамках инновационного проекта «АСУ-Навигация». Действующая система «АСУ-Транспорт» была реорганизована, ликвидированы линейные диспетчерские и контрольные пункты. К настоящему времени к системе «АСУ-Навигация» подключено 606 единиц подвижного состава муниципального транспорта и 1482 – немunicipального.

Подведены итоги первого этапа внедрения новой системы. В результате ликвидации 24 конечных диспетчерских пунктов и оптимизации штатного расписания диспетчерского аппарата ежемесячная экономия составила более 340 тыс. руб. при дальнейшем развитии «АСУ-Навигация» и полном охвате всех перевозчиков дополнительная экономия может составить около 100 тыс. руб. в год.

Кроме того, в результате внедрения системы «АСУ-Навигация» повысилось качество транспортного обслуживания пассажиров. Так, существенно сократилось количество невыполненных рейсов и число нарушений графика и схемы движения за счет оперативного и достоверного учета, а также благодаря своевременной информации водителей об обрывах контактного провода, пробках и дорожно-транспортных происшествиях.

В целях дальнейшего развития системы «АСУ-Навигация» планируется провести следующие мероприятия:

- установить для пассажиров на особо крупных пересадочных остановочных пунктах 10 информационных табло;
- на базе системы спутниковой навигации реализовать возможность расширения функций за счет использования дополнительного оборудования, в том числе организацию системы мониторинга пассажиропотока, с автоматической выдачей рекомендаций для изменения существующих расписаний (для этого планируется оснастить порядка 30 транспортных единиц оборудованием для автоматического подсчета пассажиров);
- автоматизация учета расхода горюче-смазочных материалов.
- организация возможности предоставления для пассажиров в информационной сети Интернет, на мобильные сотовые телефоны, коммуникаторы, смартфоны справочной информации о текущем состоянии процессов перевозок и движении транспорта;
- установка бортовых навигационных приборов на трамвайных вагонах, что позволит повысить качество диспетчерского управления, наладить точный учет выполненной транспортной работы.

В целях повышения качества обслуживания пассажиров, продолжается планомерное оснащение салонов подвижного состава оборудованием, позволяющим в автоматическом режиме доводить до пассажиров информацию о пути следования подвижной единицы, а также о ближайших остановках на пути следования. Информирование осуществляется с помощью электронного табло «Бегущая строка» и автоматических аудиоинформаторов. Сегодня аудиоинформаторами оборудовано 547 ед. подвижного состава, табло «Бегущая строка» – 61 ед. подвижного состава.

Еще один инновационный проект – автоматизированная система учета безналичной оплаты проезда на городском общественном пассажирском транспорте (АСОП), функционирует более 4-х лет.

Основой этой системы являются бесконтактные микропроцессорный пластиковые карты (БМПК). Она получила название «Электронный проездной – город Новосибирск». Ее внедрение производилось поэтапно.

С 1 августа 2006 г. – Единой транспортной карты (ЕТК) для граждан на горэлектротранспорте и метрополитене, а с сентября и на муниципальных автобусах. На наземном пассажирском транспорте с предоставлением 5%, 10%, 15% скидки в зависимости от суммы пополнения карты 200, 400 или 600 рублей.

С 1 ноября 2006 г. – «Карта студента» и «Карты школьника» на наземном гомовтоэлектротранспорте и метрополитене с предоставлением 50% льготы по оплате проезда.

С 1 января 2007 г. – «Социальная карта» для лиц, имеющих право на получение мер

социальной поддержки и право на приобретение единого социального проездного билета (ЕСПБ), в соответствии с постановлением губернатора Новосибирской области №32 от 31.01.2005 г.

При этом предварительно в период с ноября 2006 по январь 2007 года органами социальной защиты города и области (пригородная зона) сформирован реестр граждан, имеющих право на получение мер социальной поддержки в виде льготного безлимитного проезда на пассажирском транспорте общего пользования. Изготовлено и направлено в районные отделы пособий города более 200,5 тыс. карт и по НСО – 4,7 тыс. карт.

Для внедрения проекта БМПК «Социальная карта» расширена система пополнения и выдачи транспортных карт. Пункты выдачи БМПК «Социальная карта» размещены в зданиях районных администраций и ЖЭУ, пополнение карт стало возможно производить как через оператора в ЖЭУ так и через терминал «Квартоплат» МУП «Расчетно-кассовый центр» г.Новосибирска по электронной системе «Город».

Система электронных проездных доказала свою надежность и эффективность, стала удобным и выгодным платежным инструментом для многих новосибирцев. В автоматизированной системе оплаты проезда используются четыре вида пластиковых карт: Единая транспортная карта, Карта студента, Карта школьника и Социальная карта.

На конец 2009 года использовалось более 528 тыс. электронных карт, в том числе было выдано «Социальных карт» около 249 тыс. карт. Доля остальных видов (ЕТК, Карт студента, Карта школьника) составила более 279 тыс. шт., число которых увеличилось на 45% по сравнению с 2008 годом. На 01 мая 2010 года количество этих карт увеличилось еще на 9%.

Среднемесячное количество активированных электронных пластиковых карт «Социальная карта» в 2009 году составило – 184282 шт., что на 18% больше 2008 года (156677 шт.). А в среднем в месяц на каждую активированную карту приходится 43 поездки.

По всем видам электронных карт в 2009 году осуществлено более 143,1 млн. поездок (143141 тыс. поездок), в среднем за месяц составило 11,9 млн. поездок. Прирост количества поездок по видам карт составил: «Социальная карта» – 16% (2008 – 83456 тыс. поездок, 2009 – 97051 тыс. поездок); «Карта студента» – 29% (2008 – 10799 тыс. поездок, 2009 – 13942 тыс. поездок); «Карта школьника» – 38% (2008 – 2633 тыс. поездок, 2009 – 3632 тыс. поездок); «ЕТК» – 29% (2008 – 22178 тыс. поездок, 2009 – 28516 тыс. поездок). В 2009 году из общего числа поездок по БМПК на долю поездок совершенных по Социальной карте приходится 67,8% поездок (208 – 70,1%), «Карта студента» – 9,7% (2008 – 9,1%), «Карта школьника» – 2,5% (2008 – 2,2%), «ЕТК» – 19,9% (2008 – 18,6%).

Поездка по Социальной карте по видам наземного транспорта в 2009 году распределилась следующим образом: немunicipальный транспорт 52,7% и муниципальный транспорт – 47,3% (в том числе троллейбус 22,6%, трамвай 10,8%, автобус – 13,9%). Количества поездок увеличилось из-за существенного расширения перечня маршрутов и количества подвижного состава перевозчиков всех форм собственности, на которых действуют электронные карты.

БМПК «Единая транспорта карта» для граждан принимается к оплате на 39 маршрутах (565 ед. – 68 перевозчиков), по картам студента и школьника осуществляется перевозка на 32 маршрутах (485 ед. – 42 перевозчика). К обслуживанию по БМПК «Социальная Карта» подключено 46 маршрутов (625 ед.).

Работа в данном направлении продолжается, на 2010 год разработан график подключения перевозчиков всех форм собственности (19 перевозчиков – 173 ед.) к обслуживанию по БМПК «ЕТК» в системе АСОП.

Система «Электронный проездной Новосибирск» постоянно развивается и совершенствуется. С введением дифференцированной системы оплаты проезда (с 08 июня 2009 г.) наблюдается постоянный рост числа пользователей «ЕТК». Если на 1 июня 2009 года было активировано 65 тыс. карт, то на 1 января 2010 – 95 тыс. карт, а на 01 мая 2010 г. – 104,5 тыс. карт. Число поездок по ЕТК за месяц составляет порядка 3300 тыс. поездок по отношению к июню 2009 года (2204 тыс. поездок) выросло на 52%.

В результате внедрения АСОП на городском пассажирском транспорте Новосибирска удалось решить ряд задач не связанных непосредственно с системой оплаты проезда:

- повышение доходов транспортных предприятий на 15-30%;
- аккумулирование внутренних финансовых ресурсов и обеспечение их использования на условиях прозрачности и контроля финансовых потоков;
- повышение эффективности использования финансовых средств, в том числе и бюд-

жетных, за счет авансирования в транспортную отрасль временно свободных средств авансовых платежей граждан и точного прогнозирования бюджетных расходов от фактических объемов транспортных услуг;

– обеспечение реального контроля прохождения и расходования бюджетных средств, выделяемых в рамках социальных программ и для компенсации выпадающих доходов транспортных предприятий;

– обеспечение адресной доставки и персонифицированного учета предоставления мер социальной поддержки гражданам в части расходов на оплату услуг пассажирских перевозок;

– повышение защиты проездных документов от незаконного использования и воспроизведения;

– получение реальных данных о распределении пассажиропотока, способствующих оптимизации планирования маршрутной сети и количества подвижного состава.

С целью дальнейшего повышения уровня обслуживания пассажиров, совместно с ЗАО «Золотая Корона» разработан проект безкондукторной системы обслуживания пассажиров. Сейчас осуществляется опытная эксплуатация безкондукторной системы обслуживания пассажиров на автобусном маршруте №68. До конца 2010 года планируется завершить ее тестирования и перейти к переводу всего наземного муниципального транспорта на эту систему.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: городской пассажирский транспорт, развитие, инновации

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Новоселов Валерий Иванович, канд. экон. наук, начальник УПП мэрии г. Новосибирска

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630004, г. Новосибирск, ул. Ленина 50, УПП мэрии г. Новосибирска

ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

Н.Г. Репина

BASIS OF TECHNIQUE DESIGN OF HARDWARE MODEL OF ENTERPRISE MANAGEMENT SYSTEM
«Siberian state university of telecommunications and Information sciences»
N.G. Repina

This paper proposes a method of designing technical means as a hardware component of tools of operative management system.

Keywords: hardware, operative management system, technical model

Предложена методика построения комплекса технических средств как аппаратной части реализационного инструментария систем оперативного менеджмента..

При создании различных систем управления (СУ) предприятиями (АСУП, АСУТП, систем оперативного менеджмента – СОМ) разработчики сталкиваются с отсутствием методики построения модели комплексов технических средств (КТС), определяющей их функциональные возможности, структуру и состав.

Этим вопросам в разное время посвящено большое число работ, носящих, однако, узкоспециализированный характер; предложенные в них методы ориентированы, в основном, на синтез внутренне однородных систем, тенденции развития которых остаются достаточно устойчивыми или плавно изменяются на рассматриваемом временном интервале [1-3]. Кроме того эти методы весьма специфичны и не позволяют достаточно полно представить контуры и структуру модели КТС, его поэлементный состав, а также слабо ориентированы на использование в САПР.

В статье предпринята попытка решения данного вопроса в рамках концептуальной однородности создания и развития КТС как аппаратной части реализационного инструментария систем оперативного менеджмента (СОМ) [3, 4].

В процессе разработки КТС следует особо выделить начальный (системный) этап, который определяет весь ход разработки в целом. На этом этапе выявляются и конкретизируются основные стратегические и тактические направления решения научных проблем, возможные варианты достижения поставленных целей, определяется техническая модель КТС и

решаются вопросы ресурсного обеспечения разработок.

Под технической моделью будем понимать дескриптивную модель конкретного типа будущего КТС, включающую его подсистемы и элементы, их функциональные связи, а также состав технических и технологических проблем, решение которых обеспечивает достижение необходимых функциональных характеристик элементов, подсистем и КТС в целом. Структура такой модели, кроме того, определяет информационно-технологические и организационно-экономические связи между функциональными модулями. Так структурно-функциональная модель СОМ предопределяет состав и размещение технических средств КТС, а также информационную технологию оперативного управления [4].

Особенности ранних этапов разработок КТС состоят в следующем:

- возможность создания КТС по нескольким вариантам, выработанным из множества возможных;
- необходимость прогнозных исследований как при формировании множества проектных решений КТС, так и основных подсистем и их элементов, их структурной и информационной интеграции;
- учет большого числа взаимосвязанных (и часто противоречивых) факторов, влияющих на ход разработки КТС;
- вероятностный характер планирования и хода разработки КТС.

Большое число возможных проектных решений при постоянно возрастающей сложности КТС и дефиците времени на их создание, часто приводит к выбору не лучшего варианта. Это, в свою очередь, ведет к повторному поиску и повышению сложности и трудоемкости проведения НИОКР, рассредоточению сил и ресурсов разработчиков, и, в конечном итоге, к существенному росту затрат на создание КТС и СУ в целом.

Многолетний опыт разработок КТС систем оперативного управления предприятиями и СОМ предприятий различных отраслей позволяет в данном случае ориентироваться на структурно-функциональную модель конкретной СУ, которая определяет контуры (внешний облик) будущего КТС; определение же внутреннего состава элементов КТС должно быть особо тщательным, ибо главным здесь является не только сбалансированное сочетание аппаратных и программных средств, но и сопряжение стандартных и нестандартных технических средств. Кроме того особо стоит вопрос разработки и изготовления нестандартных технических средств.

На рисунке представлен алгоритм, описывающий интерационный процесс определения технической модели КТС, ориентированный на использование в САПР.

Допустим, что КТС представляет собой систему, которая потенциально может быть построена на многовариантных датчиках генезиса, сбора и обработки информации, использующих различные физические принципы действия.

В постановке задачи разработки КТС (блоки 1-7) выделяют два этапа: первый – формирование цели, второй – разработка технического задания (ТЗ) на определение технической модели КТС.

Формирование цели разработки КТС представляет собой процесс

$$C_{разр} = (S_{исх} - S_k) O_{реал},$$

где $S_{исх}$ – исходное состояние системы;

S_k – ожидаемый конечный результат;

$O_{реал}$ – ограничения, накладываемые на реализацию проекта.

Будущий КТС должен взаимодействовать с окружающей средой. Задаваемые целью разработки требования к КТС, имеют, как правило, достаточно общий характер, например, снижение веса оборудования, повышение надежности и ресурса, снижение трудоемкости изготовления и т.д. При формировании цели разработки оговаривается время разработки и выделяемые ресурсы.

В связи с этим при разработке ТЗ на определение технической модели КТС в общем случае требования к КТС разбиваются на четыре группы: функциональные (функции КТС); требования взаимодействия с технической средой (системой, комплексом более высокого уровня иерархии); требования к взаимодействию (интерфейсу) с ЛПР, разработчиками, изготовителями, эксплуатационщиками; требования по взаимодействию КТС с производственной средой (опытное и серийное производство, эксплуатационные подразделения и другие организации).

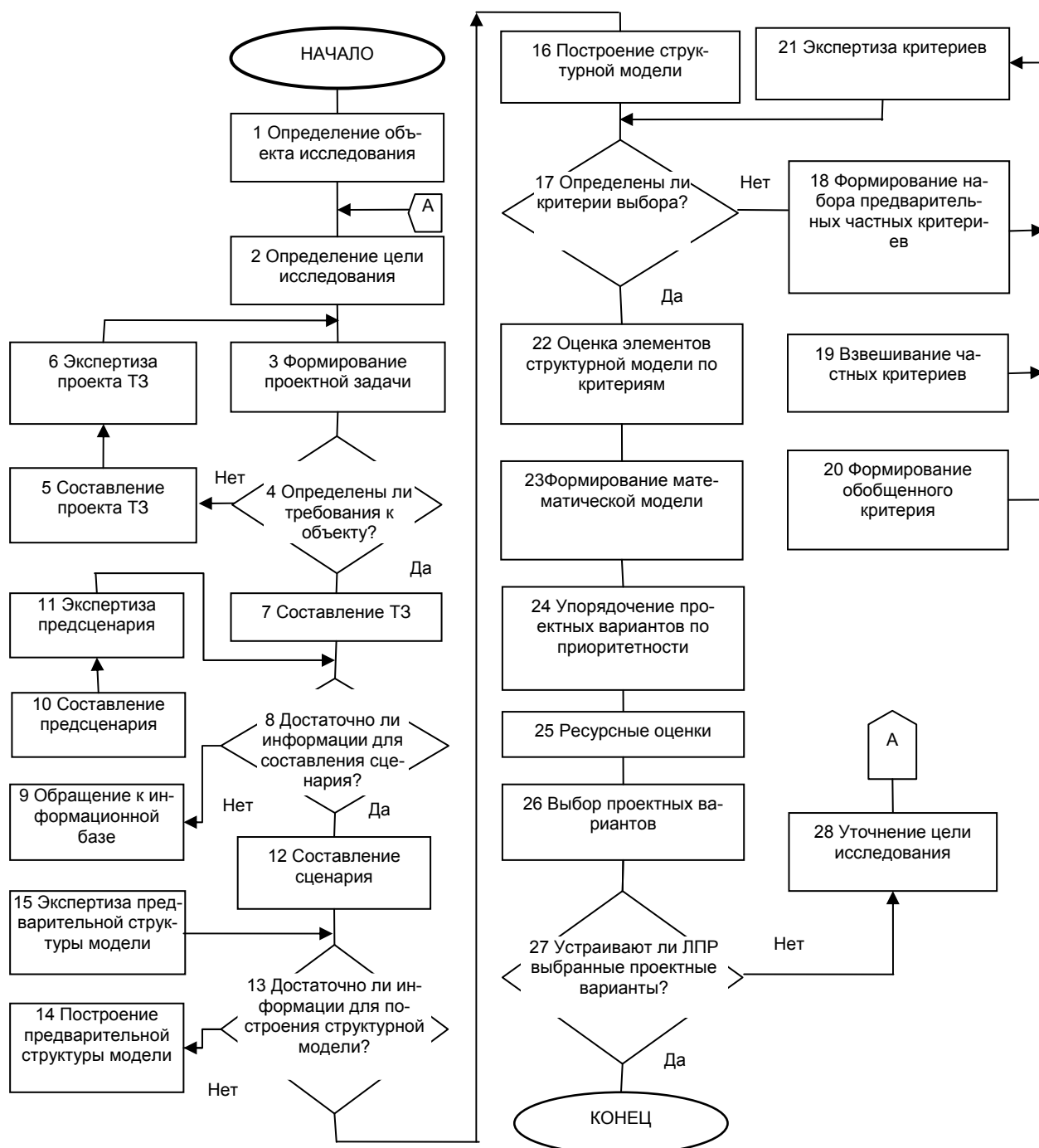


Рисунок – Алгоритм последовательных этапов методики определения технической модели КТС

Если множество характеристик КТС, удовлетворяющих этим требованиям, обозначить $Q\{x, y\}$, где $\{x\}$ - характеристики, улучшаемые при уменьшении их численного значения; $\{y\}$ - характеристики, улучшаемые при увеличении их численного значения, тогда технические характеристики будущего КТС сгруппируются так: $\{x\}$ - точность, массогабаритные показатели, время подготовки к работе; $\{y\}$ - надежность, уровень стандартизации, уровень унификации и т.д.

Перед началом разработки КТС известны только исходное состояние системы $S_{исх}$, ряд основных требований и характеристик будущего КТС (в основном функциональные требования и требования к взаимодействию КТС с технической средой), временные и ресурсные ограничения. Определение остальных компонентов, то есть S_k и оператора перехода $S_{исх} \rightarrow S_k$, является задачей выявления технической модели КТС на ранних этапах его разработки.

Исходная информационная база (блок 9) формируется в виде технических документов,

состоящих из ранее разработанных проектов, научных отчетов по исследованию тенденций развития отдельных направлений КТС, патентов и т.п.

Формирование цели разработки, ТЗ и исходной информационной базы осуществляется с подключением заказчика для совместных обсуждений.

Далее разрабатывается сценарий (блоки 8-12) – основной аналитический документ, содержащий описание настоящего и возможного будущего состояния объекта разработки и определяющий стратегию перехода из состояния $S_{\text{исх}}$ в состояние S_k . Сценарий содержит правдоподобное описание наиболее важных характеристик $S_{\text{исх}}$ и его элементов, функций этих элементов и их взаимодействия, факторов, влияющих на изменение характеристик, функций элементов, их взаимодействий, показателей и параметров, по которым можно определить их изменение.

Резюме сценария представляет прогноз развития КТС, состоящий из совокупности потенциально осуществимых вариантов построения КТС

$$S_0 = \{S_j\}; j = 1, 2, \dots, n; S_0 = S_k,$$

среди которых могут оказаться и варианты принципиально новых КТС, не имеющих аналогов.

На основе сценария разрабатывается структурная модель будущего КТС, включая все возможные варианты ее создания в виде направленного графа древовидной формы (блоки 13-16).

Необходимо особо отметить, что техническую модель (техническую структуру) КТС невозможно сформировать без одновременного учета его алгоритмической структуры (функциональных связей между элементами КТС). Поэтому при декомпозиции вариантов КТС на его структурные компоненты обязательно следует выделять и структуру функциональных связей.

Набор частных критериев

$$g = \{g_i\}; i = 1, 2, \dots, m,$$

вводится для оценки потенциально осуществимых вариантов КТС. Он формируется (блоки 17-20), рисунок 1, с привлечением экспертов (блок 22). При помощи экспертов осуществляется шкалирование критериев и определение их весов (таблица 1).

Например, для выбора наиболее рационального проектного варианта КТС был сформирован набор частных критериев $g = \{g_i\}$, $i = 1, 2, \dots, 13$, распределение которых по уровням структурной модели отражено в таблице 1. В частности, для g_8 с целью превращения оценки по этому критерию в безразмерную проводится линейное преобразование шкалы: минимальной стоимости КТС ставится, например, в соответствие число 1, максимальной стоимости – число 10. Весовые коэффициенты частных критериев w_i определяются (блок 19) методом попарных сравнений. Обобщенный критерий (блок 21) формируется в аддитивной (основанной на суммировании)

$$W^A(g_1, \dots, g_m) = \sum_{i=1}^m w_i(g_i),$$

или мультипликативной (умножение) формах

$$W^M(g_1, \dots, g_m) = \prod_{i=1}^m w_i(g_i),$$

где w_i – функционал, определенный на множестве вариантов структурной модели;

i – уровень структурной модели;

g_i – частный критерий i -го уровня,

$$w_i > 0; \sum_{i=1}^m w_i = 1.$$

В блоках 6, 11, 15, 22, 23 проводятся исследования с привлечением группы экспертов. Методы экспертных исследований могут быть различны – от индивидуальных опросов и анкетирования до коллективного обсуждения.

В блоке 24 осуществляются расчеты на ЭВМ. В основе расчетов на ЭВМ лежат программы упорядочения слоев графа [5] и волновой алгоритм для поиска минимальных путей между вершинами графа [6], позволяющие упорядочить по обобщенному критерию $W(g_1, \dots, g_m)$ все пути графа.

Далее (в блоках 25, 26, 27) осуществляется отбор наиболее целесообразных вариантов КТС

$$S_i = \{S_k\}; p = 1, 2, \dots, \ell; \ell < n, S_i \subset S_0.$$

Он представляет собой формализованную процедуру, позволяющую на основе упорядочения путей графа сформировать последовательность вариантов систем по предпочтению их реализации.

Таблица 1 – Экспертные оценки критериев и определение их веса

Уровень структурной модели	Частные критерии оценки КТС	Семантическое определение частного критерия оценки	Шкала
Типы систем	g_1 -широта использования	Применимость в составе объектов различного назначения	1-применимость на 10 и более объектах
	g_2 -приоритетность разработки	Степень важности разработки в тематическом плане	10-применимость на 1 объекте (1-высокая; 10-низкая)
Варианты систем	g_3 -точность g_4 -надежность g_5 -габариты, масса	Степень соответствия нормативному требованию по точности (надежности, габаритам, времени подготовки)	1-полное соответствие или превышение норматива; 10-не более 1/10 от норматива
	g_6 -время подготовки к работе		
	g_7 -функциональность	Степень выполнения требований перспективных ГОСТ, ОСТ по числу реализуемых функций	1-полное соответствие или превышение ГОСТ, ОСТ; 10-не более 1/10 от требований ГОСТ, ОСТ
	g_8 -стоимость	Ориентировочная стоимость на первых 3 годах выпуска	1-минимальная стоимость мировых аналогов; 10-превышение более 10 раз минимальной стоимости
	g_9 -трудоемкость	Степень соответствия нормативам на серийном производстве	1-полное соответствие или меньше норматива; 10-превышение норматива более чем в 10 раз
	g_{10} -реализуемость	Вероятность реализации в течение 3 лет с начала разработки	1-близка к единице; 10-близка к нулю
Типы, варианты структурных компонентов	g_{11} -точность g_{12} -время подготовки к работе	Степень соответствия нормативному требованию по точности (времени подготовки)	1-полное соответствие или превышение норматива; 10-не более 1/10 норматива
Проблемы	g_{13} -реализуемость проблемы	Вероятность реализации в течение 3 лет с начала разработки	1-близкая к единице; 10-близкая к нулю

Учет ресурсных ограничений дает возможность выбрать из множества вариантов S_i минимальную совокупность $S_k \subset S_i$. Такой выбор сводится к оценке трудозатрат, необходимых для решения входящих в S_k , и их сравнению с ресурсами разработчиков. Для выбора стратегии разработки определяется последовательность реализации проектов $S_k^i \in S_k, i = 1, 2, \dots$, с использованием известных методов «стоимость-эффективность».

Упорядоченное множество вариантов S_k и представляет собой техническую модель КТС, рекомендуемого к разработке.

В заключение составляется итоговый аналитический документ, обобщающий и интерпретирующий качественные и количественные результаты исследования. Если эти результаты удовлетворяют ЛПР, то принимается окончательное решение о вариантах системы S_k , запускаемых в дельнейшую разработку. В противном случае изменяется исходная концепция и уточняется ТЗ. При этом могут изменяться требования к подсистемам и элементам, их состав, варианты структурного агрегатирования, критерии оценки.

Описанный итерационный процесс, сочетающий проведение формализованных исследований с использованием ЭВМ и эвристических приемов, основанных на знаниях людей,

повторяется до тех пор, пока техническая модель КТС не будет соответствовать требованиям, предъявленным к объекту разработки, с положительной оценкой его реализуемости.

Завершающим этапом методики является включение S_k в целевую программу развития СУ с указанием как технических характеристик, направлений их развития, так и требуемого ресурсного обеспечения.

Данная методика была апробирована в рамках САПР для определения технических моделей КТС и проведения на этой основе организационно-технических мероприятий на начальных стадиях разработки СОМ. Ее использование позволяет существенно повысить эффективность начальных этапов разработки и сократить затраты на проведение НИР на 20-30%. Методика может быть применена при разработке различных технически сложных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Автоматизация поискового конструирования / под ред. А.И. Половинкина. -М.: Радио и связь, 1981. -343 с.
- 2 Петренко, А.И. Основы автоматизации проектирования / А.И. Петренко. -Киев: Техніка, 1982. -295 с.
- 3 Дворянkin, А.М. Методика синтеза технических решений / А.М. Дворянkin, А.И. Половинкин, А.Н. Соболев. -М.: Наука, 1977. -102 с.
- 4 Ситников, С.Г. Системы оперативного менеджмента / С.Г. Ситников, С.Г. Винокуров. -Новосибирск: СибГУТИ. 2007. -204 с.
- 5 Мартино, Д. Технологическое прогнозирование / Д. Мартино. -М.: Прогресс, 1977. -585 с.
- 6 Кофман, А. Сетевые методы планирования и их применение / А. Кофман, Г. Дебазей. -М.: Прогресс, 1986. -187 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: комплекс технических средств, система оперативного управления, техническая модель
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Репина Наталья Геннадьевна, соискатель ГОУ ВПО «СибГУТИ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, ГОУ ВПО «СибГУТИ»

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО СЦЕНАРИЯ РАЗВИТИЯ ГРУЗОПОТОКОВ СИБИРИ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

М.В. Пак

EFFICIENCY ESTIMATION OF STRATEGIC CARGO TRAFFIC DEVELOPMENT IN SIBERIA REGION
«Siberian state transport university»
M.V. Park

Efficiency estimation of strategic transport corridor construction Urumchi (China)-Bahti (Kazakhstan)-Veseloyarsk (Altai region)-Barnaul-Novosibirsk

Keywords: efficiency estimation, organization of transport corridor construction, temporary service, starting complex, constant operation

Рассматривается оценка эффективности строительства транспортного коридора Урумчи (КНР)-Бахты (Казахстан)-Веселоярск (Алтайский край)-Барнаул-Новосибирск.

В стратегии социально-экономического развития Новосибирской области на период до 2025 г. рассматриваются варианты развития транспортно-логистического центра по трем сценариям – трансектор 6, трансектор 5, трансектор 4 [1]. При критериальной схеме оценки различными методами трансектор 6, состоящий из четырех направлений «Север-Юг, Запад-Восток»-Казахстан-Китай, считается наиболее предпочтительным. Рассмотрим два варианта организации строительства транспортного коридора (железнодорожного и автомобильного) (ОСТК).

Базовый (I) вариант ОСТК – маршрут для перевозок: Урумчи (КНР)-Бахты (Казахстан)-Веселоярск (Алтайский край)-Барнаул-Новосибирск. Предполагается расположить основные опорные пункты строительства на станции Новосибирск и на станции Урумчи. В этом слу-

чае, предпочтительней является двухлучевая схема со встречными строительными потоками и «смычкой» примерно в середине трассы на станции Веселоярск.

Характеристики «лучей» строительства:

1-луч (станция Новосибирск-станция Веселоярск) длиной 409 км;

2-луч (станция Урумчи-станция Веселоярск) имеет строительную длину 515 км, а эксплуатационную длину – 525 км.

Альтернативный (II) вариант ОСТК предполагает создание опорных пунктов строительства железной дороги на станциях Веселоярск, Новосибирск и Урумчи. Наилучшей станет 4-лучевая схема ОСТК и ввода дороги в эксплуатацию:

1-луч (станция Урумчи-станция Бахты) длиной 300 км;

2-луч (станция Веселоярск-станция Бахты) длиной 215 км;

3-луч (станция Веселоярск-станция Барнаул) длиной 214 км;

4-луч (станция Новосибирск-станция Барнаул) длиной 195 км.

Таким образом, от опорного пункта Веселоярск берут начало 2 луча строительства – на восток и на запад.

Одна из главных задач организации ввода дороги в эксплуатацию состоит в планировании такой схемы ввода, чтобы обеспечить начало ее эксплуатации (по участкам и по линии в целом) задолго до полного завершения строительства. Такая задача решается путем следующих этапов ввода, допускающих обслуживание клиентуры: во временную эксплуатацию (ВЭ); по пусковому комплексу (ПК); ввод в постоянную эксплуатацию на полную проектную мощность (ПЭ).

Грузопотоки логично классифицировать на транзитные и местные.

В настоящей работе использованы следующие тарифные правила для оценки стоимости перевозок:

– Прейскурант №10-01 «Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами». Тарифное руководство №1. Часть I (Правила применения тарифов).

– Прейскурант №10-01 «Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами». Тарифное руководство №1. Часть II (Расчетные таблицы плат за перевозку грузов).

Протяженность маршрута принимается:

– для транзитных грузов 942 км, то есть равного эксплуатационной длине новой железной дороги;

– для местных перевозок, исходя из расстояния между пунктами приема и отправления грузов, но не далее граничных станций новой линии.

Для перевозки 1 млн. т грузов требуется 20 тыс. вагонов. Тарифная плата за 1 вагон (И1+В1) составляет $11534 + 1290 = 12824$ руб. [2]

Тарифная плата за перевозку 1 млн. т грузов составляет $12824 \times 20000 = 256,48$ млн. руб.

Таблица 1 – Объем перевозок (млн.т) и тарифная плата за транзит (млрд. руб.) [2]

Годы расчетного периода	Вариант I		Вариант II	
	млн. т	млрд. руб.	млн. т	млрд. руб.
2020	10	2,5648	10	2,5648
2019	9	2,30832	10	2,5648
2018	8	2,05184	10	2,5648
2017	–	–	8	2,05184
2016	–	–	7	1,79536
2015	–	–	1,0(ВЭ)	$0,25648 \times 5 = 1,2824$
Всего	27	6,92496	46	13,33696

Результат в перевозочной работе:

1) выручка по II варианту ОСТК по сравнению с базовым вариантом I оценивается больше на 6,412 млрд. руб. или на 92,6%;

2) в пересчете на строительную стоимость она равна 40-50 км железной дороги.

В отличие от транзитных перевозок расчет стоимости местных перевозок представляет собой достаточно сложный многошаговый процесс.

А Структура местных перевозок принята следующей [2]: грузы I класса составляют 60%; грузы II класса – 30%; грузы III класса – 10%.

Загрузка вагона принимается 50 т.

Б В расчете стоимости перевозок применяются следующие коэффициенты [2]: для грузов I класса – 0,75; для грузов II класса – 1,0; для грузов III класса – 1,74.

Средневзвешенный поправочный коэффициент к «табличной» стоимости перевозок составит: $0,6 \times 0,75 + 0,3 \times 1,0 + 0,1 \times 1,74 = 0,92$

В Тарифные платы рассчитаны по тарифным схемам И1, В1, И1+В1; платы с поправочным коэффициентом; платы за перевозку 1 млн. т грузов.

Таблица 2 – Тарифная плата за перевозку 1 вагона груза (50 т), руб. и за 1 млн. т грузов [2]

Расстояние, км	Тарифные схемы			Плата с поправочным коэффициентом	Плата за перевозку, млн. руб./млн. т грузов		
	№И1	№В1	И1+В1		ПЭ	ПК	ВЭ
100	3278	766	4044	3721	74,42	111,63	372,1
120	3500	780	4280	3938	78,76	118,14	393,8
160 (150)	3880	805	4685	4311	86,22	129,33	431,1
200 (180)	4560	834	5394	4962	99,24	148,86	496,2
300	5345	897	6242	5743	114,86	172,29	574,3
340	5800	925	6725	6187	123,74	185,61	618,7
420	6630	980	7610	7002	140,04	210,06	700,2
450	6890	995	7885	7255	145,1	217,65	725,5
520	7510	1034	8544	7861	157,22	235,83	786,1

-для перевозки 1 млн. т грузов, требуется 20000 вагонов

Г Расчет выручки за местные перевозки за весь расчетный период выполняем отдельно для этапов временной эксплуатации, пускового комплекса и постоянной эксплуатации.

Таблица 3 – Расчет выручки от местных перевозок за расчетный период 2013-2020 гг., млн. руб. Постоянная эксплуатация (ПЭ) [3]

Дальность перевозки, км	Вариант I			Вариант II		
	Объем перевозок, млн. т	Выручка, млн. руб./млн. т	Полная выручка, млн. руб.	Объем перевозок, млн. т	Выручка, млн. руб./млн. т	Полная выручка, млн. руб.
100	3,5	74,42	260,47	16,0	74,42	1190,72
120	1,0	78,76	78,76	–	–	–
160	3,0	86,22	258,66	4,5	86,22	387,99
200	5,5	99,24	545,82	9,3	99,24	922,93
300	–	–	–	2,0	114,86	229,72
340	–	–	–	1,7	123,74	210,36
420	10,0	140,04	1400,4	15,0	140,04	2100,6
520	–	–	–	6,0	157,22	943,32
Итого			2544,11			5985,64

За время постоянной эксплуатации в рамках определившегося горизонта сравнения вариантов выручка от обслуживания клиентуры оказалась больше по II варианту ОСТК: на 3,44 млн. руб. или в 2,35 раз. Предпочтительность второго варианта обязана раннему вводу линии в постоянную эксплуатацию.

Иная картина складывается при сравнении выручки за время пускового комплекса (таблица 4).

Таблица 4 – Расчет выручки от местных перевозок за расчетный период, млн. руб. Пусковой комплекс (ПК) [3]

Дальность перевозки, км	Вариант I			Вариант II	
	Объем перевозок, млн. т	Выручка, млн. руб./млн. т	Полная выручка, млн. руб.	Объем перевозок, млн. т	Полная выручка, млн. руб.
100		111,63		9,2	1023,0
150	3,5	129,33	452,66	–	–
200	12,5	148,86	1860,75	–	–
300	4,0	172,29	689,16	–	–
Итого			3002,57		1023,0

Здесь полную выручку по II варианту можно ожидать меньше почти на 2 млрд. руб. (3002,57-1023,0=1979,57). В то же время отметим, что по сравнению с ПЭ она формируется при меньшем в 1,5 раза объеме перевозок (тарифная плата принята увеличенной в 1,5 раза).

Наиболее значительной разницей между вариантами в объеме выручки определилась в период временной эксплуатации (таблица 5). Абсолютная величина разницы в пользу II варианта оценивается в 5,95 млрд. руб., а относительная – в 4,2 раза.

Таблица 5 – Расчет выручки от местных перевозок за расчетный период, млн. руб. Временная эксплуатация (ВЭ) [3]

Дальность перевозки, км	Выручка, млн. руб./млн. т	Вариант I		Вариант II	
		Объем перевозок, млн. т	Полная выручка, млн. т	Объем перевозок, млн. т	Полная выручка, млн. руб.
100	372,1	5,0	1860,5	5,8	2158,18
120	393,8	–	–	7,5	2953,5
160	431,1	–	–	2,0	862,2
200	496,2	–	–	2,5	1240,5
300	574,3	–	–	0,5	287,15
340	618,7	–	–	0,5	309,35
Итого			1860,5		7810,88

Д Сравнение общей выручки по вариантам от местных перевозок.

Размер общей выручки от местных перевозок за расчетный период оценивается следующими величинами:

– по варианту I ОСТК: ПЭ+ПК+ВЭ=2544,11+3002,57+1860,5=7407,18 млн. руб.

– по варианту II ОСТК: ПЭ+ПК+ВЭ=5985,64+1023+7810,88=14819,52 млн. руб.

Разница в пользу II варианта составляет 7407,03 млн. руб., а относительная разница – в 2 раза.

Сравнение выручки по сумме всех перевозок – транзитных и местных – дает следующие результаты (таблица 6).

Таблица 6 - Сравнение вариантов ОСТК по общей выручке, млн. руб.

Показатель	I вариант	II вариант	Разница
Плата за транзитные перевозки	6924,96	13336,96	6412
Плата за местные перевозки	7407,18	14819,52	7412,34
В сумме	14332,14	28156,48	13824,34

Приведенные результаты (в сфере эксплуатации транспортного коридора) позволяют заключить:

– вариант II ОСТК предпочтительнее варианта I как по размеру выручки от транзитных перевозок, так и от местных перевозок;

– в переводе на новое строительство эффект сопоставим со стоимостью строительства 108 км дороги (при её километровой стоимости 128 млн. руб.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Стратегия социально-экономического развития Новосибирской области на период до 2025 года [Электронный ресурс]: офиц. сайт Администрации НСО. -Режим доступа: www.adm.nso.ru.

2 Прейскурант №10-01. Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами [Электронный ресурс]: тариф. рук. №1. Ч.I. Правила применения тарифов. -Режим доступа: www.doc.rzd.ru.

3 Прейскурант №10-01. Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами [Электронный ресурс]: тариф. рук. № 1. Ч. II. Расчетные таблицы плат за перевозку грузов. – Режим доступа: www.doc.rzd.ru.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оценка эффективности, организация строительства транспортного коридора, временная эксплуатация, пусковой комплекс, постоянная эксплуатация

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Пак Мария Викторовна, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ СТОИМОСТЬЮ СУДОВ НА РАННИХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»
Верхне-Волжский филиал «Российского Речного Регистра»

Н.Н. Рехалова, В.П. Лобастов

AN ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF SHIPBUILDING COST CONTROL AT EARLIER STAGES OF SHIP DESIGN

«Volga state academy of water transport»

Verkhne-Volzhsky branch of the «Russian River Register of shipping»

N.A. Rekhalova, V.P. Lobastov

A new approach has been presented to determine the cost of shipbuilding at earlier design stages. Definition of the concept of shipbuilding cost control, description of the control process and its mathematical model are given.

Keywords: model of the process of shipbuilding cost control, search of the objective function minimum, predicted value of the mass of ship elements

Представлен новый подход к определению строительной стоимости судов на ранних стадиях проектирования. Дано определение понятия управления строительной стоимостью судна, описание и математическая модель процесса управления.

Управление строительной стоимостью судна – процесс формирования и контролирования затрат на проектирование и строительство судна, выполнение корректирующих действий, которые являются частью общего процесса проектирования судна.

Процесс управления строительной стоимостью судна состоит из следующих этапов:

1 этап. Входы процесса управления строительной стоимостью судна. Определение точки отсчета.

Определение соотношения масс элементов судна $P_1 - P_6$ дифференцированных по уровням стоимости, при котором стоимость судна будет минимальной (6). В сравнении с полученной таким образом величиной стоимости должны согласовываться дальнейшие действия при проектировании судна.

2 этап. Методика управления строительной стоимостью судна.

Описание процедур внесения изменений и дополнений в ограничения (2) к массам элементов судна $P_1 - P_6$, обусловленных особенностями проекта, требованиями технического задания, стадией разработки проекта судна.

Контроль изменения строительной стоимости (6) на всех стадиях разработки проекта судна.

3 этап. Выходы процесса управления строительной стоимостью судна.

Решения, принимаемые при проектировании судна должны согласовываться с учетом их влияния на величину строительной стоимости судна. Экономико-математическая модель процесса управления стоимостью судна на ранних стадиях проектирования (6) – инструмент, позволяющий определить характер и степень воздействия того или иного проектного решения на стоимость судна.

В соответствии с [1] расчет строительной стоимости судов производился минимум по 18-ти расчетным единицам (статьям нагрузки масс). Значения измерителей стоимости, соответствующие этим расчетным единицам, существовавшие ранее, в настоящее время устарели и подтвержденных данных об индексации этих измерителей не существует [2]. Для обеспечения управления строительной стоимостью расчетные единицы самоходных грузовых судов внутреннего и смешанного плавания были объединены в 6 групп по уровням стоимости. Первый уровень стоимости имеют элементы судна с наибольшей полной стоимостью одной тонны статей нагрузки масс: «Электро- и радиооборудование»; «Дистанционное управление», и т.д. до 6-го уровня с минимальной полной стоимостью одной тонны, к которому относится «Металл в составе корпуса и надстройки» [3].

Для математического описания процесса управления стоимостью судна на ранних стадиях проектирования функция цели может быть записана в виде следующего выражения

$$C = \sum_{j=1}^m c_j \times P_j \rightarrow \min, \quad (1)$$

где C – строительная стоимость судна, тыс. руб.;

c_j – средняя строительная стоимость одной тонны массы элементов j -го уровня стоимости, тыс. руб./т;

P_j – масса элементов j -го уровня стоимости, т;

m – количество уровней стоимости.

Массы P_1 – P_6 оказывают разное влияние на функцию цели (1), так как значение c_j уменьшается от 1-го уровня стоимости к 6-му [4], то есть при увеличении на одну и ту же величину, масса 6-го уровня повлияет на строительную стоимость судна меньше, чем, например, масса 2-го или 4-го уровня стоимости.

Поиск минимума функции (1) должен производиться при выполнении ряда ограничений к массам P_j

$$\sum_{j=1}^n P_j = D'_{пор}; P_j^H \leq P_j \leq P_j^e, \quad (2)$$

где $D'_{пор}$ – масса судна порожнем, т,

$$D'_{пор} = D - DW - \Delta D - P_{бал} - P_{пжж}; \quad (3)$$

D – водоизмещение судна, рассчитанное в первом приближении, т;

DW – дедвейт судна, т;

ΔD – запас водоизмещения, т;

$P_{бал}$, $P_{пжж}$ – масса балласта и масса постоянных жидких грузов соответственно, т (при расчете стоимости не учитывается);

P_j^H , P_j^e – прогнозируемое значение массы элементов, имеющих j -й уровень стоимости соответствующее нижней и верхней границе доверительного интервала прогноза с вероятностью $(1-\alpha)$, определяемое по формулам

$$P_j^e = \hat{p}_j + t_{крj}(\alpha, n-1)S_{p_j}; P_j^H = \hat{p}_j - t_{крj}(\alpha, n-1)S_{p_j}, \quad (4)$$

где $\hat{p}_j$ – точечная оценка среднего значения массы элементов, имеющих j -й уровень стоимости, получаемая с помощью регрессионной модели, т,

$$\hat{p}_j = \bar{q}_j \cdot M_j; \quad (5)$$

$\bar{q}_j$ – измеритель массы элементов судна, имеющих j -й уровень стоимости, полученный на основании обработки статистических данных;

$t_{крj}(\alpha, n-1)$ – t-критерий Стьюдента, который определяется для каждого уровня стоимости в зависимости от заданного уровня значимости α и числа степеней свободы $(n-1)$;

n – количество наблюдений в исследованной выборке, на основании которой построены модели парной линейной регрессии (5);

S_{p_j} – средняя ошибка положения линии регрессии (5) в генеральной совокупности при конкретном значении M_j , определяется по формулам регрессионного анализа.

M_j – модуль пересчета массы элементов, имеющих j -й уровень стоимости.

В качестве модуля пересчета масс элементов различных уровней стоимости грузовых судов принимаются кубический модуль $L \times B \times H$ (м³) и мощность судна N (кВт), рассчитанные на исследуемой стадии проектирования судна. В таблице представлены линейные регрессионные модели вида (5), полученные в результате обследования отобранных случайным образом самоходных грузовых судов внутреннего и смешанного плавания [5].

Таким образом, экономико-математическая модель процесса управления строительной стоимостью судов на ранних стадиях проектирования может быть записана в следующем виде:

– функция цели
$$C = \sum_{j=1}^m c_j \times P_j \rightarrow \min; \quad (6)$$

$$- \text{ограничения} \quad \sum_{j=1}^n P_j = D'_{\text{пор}}; \bar{q}_j \cdot M_j - t_{\text{кр}_j}(\alpha, n-1) S_{p_j} \leq P_j \leq \bar{q}_j \cdot M_j + t_{\text{кр}_j}(\alpha, n-1) S_{p_j}. \quad (7)$$

Таблица – Расчетные формулы для определения масс элементов различных уровней стоимости на начальных стадиях проектирования грузовых судов внутреннего и смешанного плавания

Уровень стоимости	Расчетная формула	Количество наблюдений, n	Коэффициент детерминации, R^2	Доверительные интервалы для коэффициентов регрессии при уровне значимости $\alpha = 0,05$
1	$P_1 = 0,0025 (L \times B \times H)$	65	0,92	[0,0023; 0,0024]
2	$P_2 = 0,043 N$	56	0,95	[0,040; 0,045]
3	$P_3 = 0,0073 (L \times B \times H)$	48	0,90	[0,0066; 0,0080]
4	$P_4 = 0,017 (L \times B \times H)$	62	0,91	[0,016; 0,018]
5	$P_5 = 0,0104 (L \times B \times H)$	58	0,88	[0,0094; 0,0114]
6	$P_6 = 0,0915 (L \times B \times H)$	67	0,96	[0,087; 0,096]

Модель (6) и (7) сформулирована в форме задачи линейного программирования, когда целевая функция представлена в линейной форме, а ограничения – в виде системы линейных неравенств, при условии неотрицательности переменных модели [6], [7]. Поиск минимума линейной функции цели (1), производится симплекс-методом, который реализуется в различных компьютерных программах, например, для решения данной задачи может быть использована программа TORA или табличный процессор Excel [7].

Внедрение процесса управления строительной стоимостью в методику проектирования судна, дает возможность, имея ограниченные данные по проекту, производить дальнейшее проектирование на каждом последующем этапе с учетом изменений в строительной стоимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Методика и нормативы определения себестоимости и оптовых цен на постройку судов внутреннего плавания промышленными предприятиями Минречфлота РСФСР. -М., 1979. - 86 с.

2 Рехалова, Н.А. Постановка задачи управления строительной стоимостью на ранних стадиях проектирования судов / Н.А. Рехалова, В.П. Лобастов // Судостроение. -2010. -№2. - С. 47-50.

3 Рехалова, Н.А. Распределение строительной стоимости элементов судна по уровням стоимости с использованием метода группировки / Н.А. Рехалова // Международный научно-промышленный форум «Великие реки-2008». Секционные доклады: тез. докл. / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. -Н.Новгород, 2009. -С. 308-310.

4 Рехалова, Н.А. Зависимость строительной стоимости судна от масс элементов разных уровней стоимости / Н.А. Рехалова // Вестн. Волж. гос. акад. вод. трансп. -Н.Новгород, 2010. -Вып.28. -С. 79-82.

5 Рехалова, Н.А. Оценка измерителей масс элементов судна, имеющих один уровень стоимости / Н.А. Рехалова, В.Л. Этин // Вестн. Волж. гос. акад. вод. трансп. -Н.Новгород, 2010. -Вып.28. -С. 83-86.

6 Карасев, А.И. Математические методы и модели в планировании: учеб. пособие / А.И. Карасев, Н.Ш. Кремер, Т.И. Савельева; под ред. А.И. Карасева. -М.: Экономика, 1987. - 240 с.

7 Таха, Х.А. Введение в исследование операций: [пер. с англ.] / Х.А. Таха. -7-е изд. -М.: Вильямс, 2005. -901 с.: ил.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: модель процесса управления строительной стоимостью судна, поиск минимума функции цели, прогнозируемое значение массы элементов

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Рехалова Наталья Александровна, старший преподаватель ФГОУ ВПО «ВГАВТ»
Лобастов Валерий Павлович, канд. техн. наук, директор Верхне-Волжского филиала РРР

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «ВГАВТ»
603001, г. Нижний Новгород, ул. Рождественская, 38в, Верхне-Волжский филиал РРР

ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК ОДНО ИЗ ВАЖНЕЙШИХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Т.А. Лунина, М.О. Северова

INTRODUCTION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES AS ONE OF THE MOST IMPORTANT DIRECTION OF RAISING EFFICIENCY IN USING RAILWAY TRANSPORT RESOURCES

«Siberian state transport university»

T.A. Lunina, M.O. Severova

Application of technology of forming and passing heavy trains enables to reduce expenses of a rolling stock's and locomotive brigade's work to unit of transportations, and also to increase a reserve of throughput on loaded directions.

Keywords: heavy trains, innovative technologies, economic benefit, mass cargoes

Применение технологии формирования и пропуска тяжеловесных поездов дает возможность существенно сократить затраты работы тягового подвижного состава и локомотивных бригад на единицу перевозок, а также повысить резерв пропускной способности на грузонапряженных направлениях.

Внедрение и жизнь инновационных мероприятий, которые переводят объект из одного качественно или количественно нового состояния в другое, часто сопровождается спорами и различными точками зрения на предмет их экономической целесообразности. Зачастую многие решения трудно оценить в современных условиях, а по прошествии некоторого времени экономический эффект становится очевидным – просто для этого не сложились все условия, позволяющие увидеть его со всех сторон.

Для железнодорожного транспорта, на котором сосредоточено громадное количество различных технических средств, проблема внедрения новой техники и технологий в современных условиях особенно актуальна. Компании необходимо существенно обновить подвижной состав, устройства автоматики, телемеханики, энергетики. Причем обновление должно перевести работу компании на качественно иной уровень развития техники, отвечающий современным требованиям, позволяющий приблизиться к ведущим зарубежным транспортным компаниям. С другой стороны, появление современных вагонов, локомотивов и других устройств требует от компании существенного пересмотра технологий работы.

Из истории известно, что появление нововведений всегда встречало много противников, аргументы которых были достаточно вески. Примером может служить электрификация железных дорог. Так, уже в 1929 году прошел первый электропоезд, но в то же время велась серьезная дискуссия об его целесообразности и эффективности. Это можно понять – объемы перевозок того времени, техническое развитие в целом железнодорожного транспорта не давали скептикам уверенности в необходимости развития данного направления. Стоит отметить, что масштабная электрификация началась только во второй половине 50-х годов (был принят план электрификации железных дорог, рассчитанный на 15 лет), то есть прошло более 30 лет. Сегодня мы не сомневаемся в экономичности электрической тяги, которая позволила в разы уменьшить затраты на единицу перевозок, причем экономический эффект заключается не только в снижении энергоемкости транспортной продукции, но и в существенном сокращении затрат работы подвижного состава для выполнения заданного грузооборота, а значит и экономии эксплуатационных расходов. А в последние годы еще одним плюсом электрической тяги по сравнению с тепловозной стала ее экологичность.

Инновационные решения в фундаментальных науках имеют еще больший временной лаг для оценки их полезности. Большинство серьезных открытий получало свое практическое использование значительно позже, когда наука и общество были готовы оценить полученные результаты.

Еще недавно мы говорили об экономическом кризисе, который затронул практически все отрасли экономики нашего государства. Для железнодорожного транспорта снижение объема перевозок позволило на время снять вопрос дефицита пропускной и провозной способности, однако уже сегодня мы можем говорить, что эта тема становится все более актуальной. При ограниченности инвестиционных и временных ресурсов мы не можем решить эту проблему строительством дополнительных путей на всех «узких» местах магистралей.

Следовательно, необходимы инновационные подходы в организации эксплуатационной работы в части формирования и пропуска грузовых поездов.

Примером направлений в совершенствовании методов эксплуатационной работы является формирование и пропуск тяжеловесных поездов. Развитие этого направления освоения растущего объема работы получило на Куйбышевской, Свердловской, Приволжской, Западно-Сибирской и других железных дорогах, которые в последние годы реально почувствовали исчерпание резерва пропускной способности.

Основными грузами тяжеловесных поездов являются массовые - уголь, железная руда, другие полезные ископаемые, а также зерно, продукция нефтяной, нефтехимической промышленности и даже автомобили и контейнеры. В настоящее время статистических данных о структуре грузов в тяжеловесных перевозках недостаточно. Однако известно, например, что ежегодно в мире добывается около 4,1 млрд. т угля. Большую его часть перевозит железнодорожный транспорт, и по объему перевозок уголь намного превосходит другие грузы, включая нефтепродукты. Мировая практика организации перевозок грузов давно использует тяжеловесные поезда для перевозки массовых видов. Создана Международная ассоциация тяжеловесного движения, в которую входят и представители России и которая занимается техническими и технологическими проблемами пропуска тяжеловесных поездов. Однако вопросы экономической оценки повышения веса грузовых поездов не имеют достаточной проработки. Существующие в настоящее время методики не дают возможности учесть все факторы и последствия внедрения этой прорывной технологии.

Экономия эксплуатационных расходов необходима в условиях растущей конкуренции со стороны других видов транспорта, а тяжеловесные перевозки обеспечивают снижение удельных транспортных затрат, даже несмотря на потребность в более мощных конструкциях подвижного состава, пути и более тяжелые режимы эксплуатации. Не стоит забывать также, что эффективность деятельности любого хозяйствующего субъекта определяется уровнем рентабельности, повышение которого напрямую зависит от оптимизации (сокращения) эксплуатационной работы. Особенно это касается, дорог, где преобладающее значение в общем объеме перевозок занимают массовые («дешевые») грузы, которые в тарифном руководстве чаще всего относятся к 1 классу, а, следовательно, имеют минимальный уровень доходности. Так, например, перевозка экспортного угля на расстояние свыше 3000 км становится убыточной (из-за применения понижающего коэффициента к тарифу). В таких условиях железным дорогам просто необходимо снижать затраты эксплуатационной работы на единицу перевозок. Одним из возможных путей решения этой задачи и является повышение массы поезда.

Западно-Сибирская железная дорога – главная углепогрузочная дорога железнодорожной сети России. И для роста эффективности ее работы весьма актуально внедрение тяжеловесного движения. Не зря руководством дороги были подготовлены все условия для «промышленной» эксплуатации этой по сути дела инновационной технологии: проведены в 2003 году опытные поездки и тяговые испытания поездов – девятитысячников, подготовлены локомотивы и локомотивные бригады, реконструирован путь по выделенным направлениям движения и др.

Кроме того, организация на Главном ходу дороги пассажирского движения поездов со скоростью 140-160 км/ч требует осуществить разгрузку Транссибирской магистрали с отклонением грузовых поездов на Среднесибирский ход. Станции Алтайская, Входная, Карасук, уже в 2005 году формировали тяжеловесные поезда на станции Южно-Уральской и Свердловской железных дорог именно в этом направлении, в настоящее время поезда повышенного веса с Алтайской следуют до станции Иртышская. Расчеты, проведенные еще в 2005 году показали, что при организации пропуска поездов весом 9000 т на участке Алтайская-Иртышское расходы, связанные с подготовкой 15 специальных локомотивов полностью окупятся за 1 год, кроме того, будет достигнута экономия средств в сумме 10,6 млн. руб. Организация вождения 10 поездов в сутки весом 9000 т на участке Алтайская-Иртышское позволит повысить пропускную способность участка на 30 тыс. т в сутки, а это дополнительная возможность получить выручку более 12 млн. руб. в сутки.

Если учитывать планы дороги на 2011 год формировать и пропускать 17 тяжеловесных поездов в сутки (к сентябрю 2010 года их число достигло 10) на этом направлении, то по скромным подсчетам это позволит убрать 10 ниток грузовых поездов в сутки.

С учетом того, что в структуре погрузки уголь для Западно-Сибирской дороги составляет более 70%, при среднем весе грузового поезда дорога планирует формировать за сутки в

октябре около 116 составов с углем, если бы все поезда были весом 9000 т, их могло бы быть только 56.

Определение экономического эффекта применения данной технологии формирования и пропуска поездов должен сопровождаться детальными расчетами по отдельным участкам и направлениям. Существующие в отрасли методики по экономической оценке повышения массы поезда в данном случае не совсем корректны, так как вес увеличивается почти в 2 раза, что существенно меняет многие показатели эксплуатационной работы. Действующие методики [1] подходят для оценки повышения массы поезда в пределах плановой величины на 2, 3, 5%, при обязательном условии постоянства остальных показателей. Как правило, эффект учитывает снижение расходов в части использования локомотивов и локомотивных бригад, а также энергетических затрат на единицу перевозок. При этом полученная экономия обычно сравнивается с дополнительными расходами, связанными с увеличением простоя вагонов под накоплением. Однако, все это правомерно при формировании поездов на станциях отправления, а организация технических маршрутов на крупных сортировочных станциях в местах слияния значительных грузопотоков (для Западно-Сибирской железной дороги – это вывоз энергетического угля, зарождающегося в Кузбассе, со станции Алтайская) не дает значительного роста простоя вагонов.

Такое существенное повышение массы поезда должно оцениваться индивидуально, для каждого направления, с учетом технической вооруженности участков и станций, грузо-напряженности и других особенностей. Экономический эффект, по нашему мнению, будет формироваться не только за счет сокращения показателей эксплуатационной работы, но и улучшения диспетчеризации поездопотоков, возможности межотраслевой координации технологического процесса при проведении капитальных ремонтов инфраструктуры, обеспечения сезонных перевозок, сокращения потребности в тяговом подвижном составе, освоении дополнительного грузопотока.

Необходимо отметить, что отдельные дороги проводят мероприятия по техническому перевооружению уже с учетом возможного пропуска тяжелых поездов. Усиление конструкции пути и путевого развития станций, обновление парка тягового подвижного состава – все это факторы, которые говорят о том, что пропуск поездов 9000 т это только вопрос времени. Мы не должны ориентироваться на отсталость некоторых элементов сети, а должны заглядывать в будущее. Выход из кризиса и поступательное развитие экономики даст очередной толчок для технического перевооружения железнодорожного транспорта.

Эффект от внедрения инноваций на железнодорожном транспорте должен рассматриваться значительно шире, чем в рамках отдельной отрасли. Во-первых, транспортное слабоемое входит составной частью в совокупные издержки народного хозяйства на производство любой продукции и определяет конечную цену в пункте потребления. Таким образом, снижение издержек транспорта позволит обеспечить конкурентоспособность продукции других отраслей на внутреннем и внешнем рынках.

Во-вторых, применение современной техники и прогрессивных технологий позволит повысить производительность труда и качество оказываемых услуг. В частности, ускорение доставки грузов способствует высвобождению оборотных средств других отраслей и в целом народного хозяйства.

В-третьих, организация сквозного тяжеловесного движения на всем пути следования маршрута может дать и эмерджентный эффект, который позволит увидеть преимущества данной технологии не предусмотренные первоначально.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Методика расчета единичных и укрупненных расходных ставок в условиях структурной реформы / Рос. ж. д. -М., 2008.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *тяжеловесные поезда, инновационные технологии, экономический эффект, массовые грузы*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Лунина Татьяна Аркадьевна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»
Северова Марина Олеговна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*

ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ФОРМ УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОВЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.М. Бунеев

EVOLUTION OF ORGANIZATIONAL FORMS OF FREIGHT TRAFFIC
«Novosibirsk state academy of water transport»
V.M. Buneev

The results of analysis of the evolution of organizational forms of freight transport management.

Keywords: freight transport, management, organizational forms, the evolution

Изложены результаты анализа эволюции организационных форм управления грузовыми перевозками.

Развитие и совершенствование организационных форм управления грузовых перевозок обусловлено теоретическими изысканиями и практикой разработки единого технологического процесса работы смежных видов транспорта. В частности, были разработаны и последовательно внедрены в Ленинградском морском порту непрерывный график работы флота (НГРФ) и непрерывный план-график работы порта (НПГРП), а также – непрерывный план-график работы транспортного узла (НПГРТУ).

В результате этого удалось организовать деятельность всех участников транспортного процесса по единому плану и добиться значительных успехов: ускорение доставки грузов; снижение транспортных издержек; повышение качества и рентабельности перевозок. В дальнейшем эти графики получили распространение в 38 транспортных узлах. Экономический эффект от их внедрения в тот период превысил 60 млн. руб. [1].

Опыт функционирования транспортных узлов в условиях согласованного управления работой различных видов транспорта послужил основой для дальнейшего развития организационных форм управления грузовыми перевозками. Были поставлены и решены задачи по взаимодействию с непосредственными участниками транспортного процесса: грузоотправители и потребители, органы местного самоуправления и региональные органы управления. Таким образом, появилась новая форма территориальный промышленно-транспортный комплекс (ТППК).

Поскольку транспорт здесь, как и другие составляющие производственной инфраструктуры, обслуживает весь хозяйственный комплекс, его перспективное планирование и оперативное управление должны осуществляться совместно с планированием базисных отраслей-абонентов транспортной системы. Согласованное управление и планирование работы транспорта и отраслей промышленности, которые являлись основными потребителями транспортных услуг, стало принципиально новым, что отличало от транспортных узлов с единым план-графиком работы.

Основополагающие принципы формирования территориального ПТК были реализованы в Томской области. При этом в первую очередь учтены ее природные и экономико-географические особенности. В ПТК были включены речной, железнодорожный, автомобильный и авиационный виды транспорта, но только в той части, в которой они взаимодействуют в едином транспортном процессе, обеспечивая перевозки в смешанном сообщении.

Кроме транспортных в комплекс вошли предприятия и организации различных отраслей экономики Томской области. Первоначально их было семь, затем пятнадцать, а потом девятнадцать [4]. Эти предприятия отбирались по принципу максимально тесной связи с речным транспортом. В результате была организована некая совокупность предприятий и организаций транспорта и связи, материально-технического снабжения, торговли, энергетики и ряда важнейших базисных отраслей. Объединил их транспортный процесс, центральным звеном которого стал Томский речной порт – один из крупнейших в Обь-Иртышском бассейне. В связи с этим в дальнейшем (в 1998 году) на базе этого порта была создана Томская судоходная компания, а на долю ПТК приходилось более 70% грузооборота области.

Для организации управления был создан координационный совет под руководством заместителя председателя облисполкома. В его состав вошли первые руководители област-

ных ведомств и предприятий. Работа совета была направлена на создание такого хозяйственного механизма, при котором согласовывалась и координировалась деятельность всех партнеров для достижения единой цели и обеспечения материальной и моральной заинтересованности в получении максимального общего результата.

Основной задачей координированного совета была рациональная организация перспективного и оперативного планирования с целью ускорения доставки грузов и повышения качества перевозок, улучшения использования транспортных и перегрузочных средств и совершенствования организации перевозок.

Координационный совет организовал внедрение в практику работы системы взаимоувязанного непрерывного планирования, руководил рабочими группами, осуществлял контроль исполнения взаимоувязанных планов-графиков. На заседаниях координационного совета еженедельно решались задачи оперативного управления, согласовывались основные положения совместной работы предприятий комплекса на ближайший период; анализировались причины невыполнения планов графиков и сбоев в системе непрерывного планирования доставки грузов, намечались мероприятия по устранению выявленных недостатков.

В крупных промышленных и сельскохозяйственных центрах Томской области (Асино, Могочино, Колпашего, Парабель, Карагасок, Стрежевое и Томск) были созданы рабочие группы, которые исполняли решения координационного совета, обеспечивали выполнение планов-графиков работы и эффективную эксплуатацию транспорта. Эти группы ежедневно составляли план-график работы с учетом сложившейся производственной обстановки, акцентированного декадного плана и установленных сроков доставки грузов.

В Томске рабочая группа осуществляла непрерывное взаимоувязанное планирование работы транспорта, грузоотправителей и грузополучателей на основе непрерывного планирования доставки грузов. Следовательно, созданные рабочие группы являлись важнейшими звеньями в управлении ПТК. Кроме того, при координационном совете работала комиссия по долгосрочному планированию и моделированию согласованной деятельности ПТК и выработки стратегических перспективных решений. Сбор и обработка информации для перспективного и текущего планирования осуществлялись в вычислительном центре коллективного пользования г. Томска.

Опыт работы Томского промышленно-транспортного комплекса в условиях административно-командной системы показал, что такая форма организации управления взаимосвязанной деятельностью хотя и имела определенные недостатки, однако позволила достаточно эффективно координировать деятельность большого числа смежников. В дальнейшем этот опыт в определенной степени был распространен и на весь Западно-Сибирский экономический район. Были сформированы Тюменский, Тобольский, Сургутский, Салехардский и Ямало-Ненецкий транспортные комплексы как формы организации отраслевого и территориального управления инфраструктурой.

В процессе совершенствования организации управления грузовыми перевозками на основе принципов системного подхода появились новые формы – транспортно-технологические системы (ТТС) доставки различных грузов. Они представляют собой цепочку от грузоотправителя до грузополучателя, объединенную единым технологическим процессом доставки грузов. Понятие ТТС комплексное и определяется как совокупность технических и технологических средств, организационных мероприятий и системы управления. ТТС призвана обеспечить своевременную и качественную доставку грузов с наименьшими затратами при участии одного либо нескольких видов транспорта.

Исходя из функционального и структурного состава ТТС они делятся на: локальные, интегральные, комплексные и региональные. Локальные ТТС создаются для выполнения одной укрупненной операцией техническими средствами речного транспорта. Интегральные ТТС предназначены для выполнения всех укрупненных операций транспортного процесса в пределах одного вида транспорта (например, внутреннего водного) и его техническими средствами. Комплексные ТТС представляют собой систему, где выполняется весь комплекс операций по доставке грузов от грузоотправителей до грузополучателей при участии различных видов транспорта. В восточных регионах интегральные и комплексные ТТС наиболее широкое распространение получили при доставке тарно-штучных грузов в Обь-Иртышском и Ленском бассейне [2].

Региональные ТТС являются разновидностью интегральных либо комплексных, которые осуществляют доставку грузов в пределах одного региона. Они могут входить в состав территориального ПТК (Томский) либо самостоятельными формированиями, как в Енисейском

бассейне при экспедиционном завозе грузов на малые реки и притоки. Для его осуществления формируется временное функционально-структурное подразделение (рисунок 1).

Экспедиционному завозу грузов на притоки предшествует подготовительный период. В течение его производится накопление грузов в базовом порту, ремонт и экипировка судов выделенных для их перевозки, формируется выездная пристань для организации обработки судов в пунктах назначения. Группа выделенных судов при движении образует «караван». Руководит им капитан-наставник либо наиболее опытный капитан судна, как правило, буксирного. Выездную пристань возглавляет ее начальник. Он организует работу подчиненных ему специалистов и рабочих.

В Енисейском речном пароходстве таких временных подразделений по экспедиционному завозу организовано несколько: на Большой Пит, Подкаменную и Нижнюю Тунгуски (рисунок 2). Анализ и обобщение опыта их работы свидетельствует об эффективности такой формы управления грузовыми перевозками.

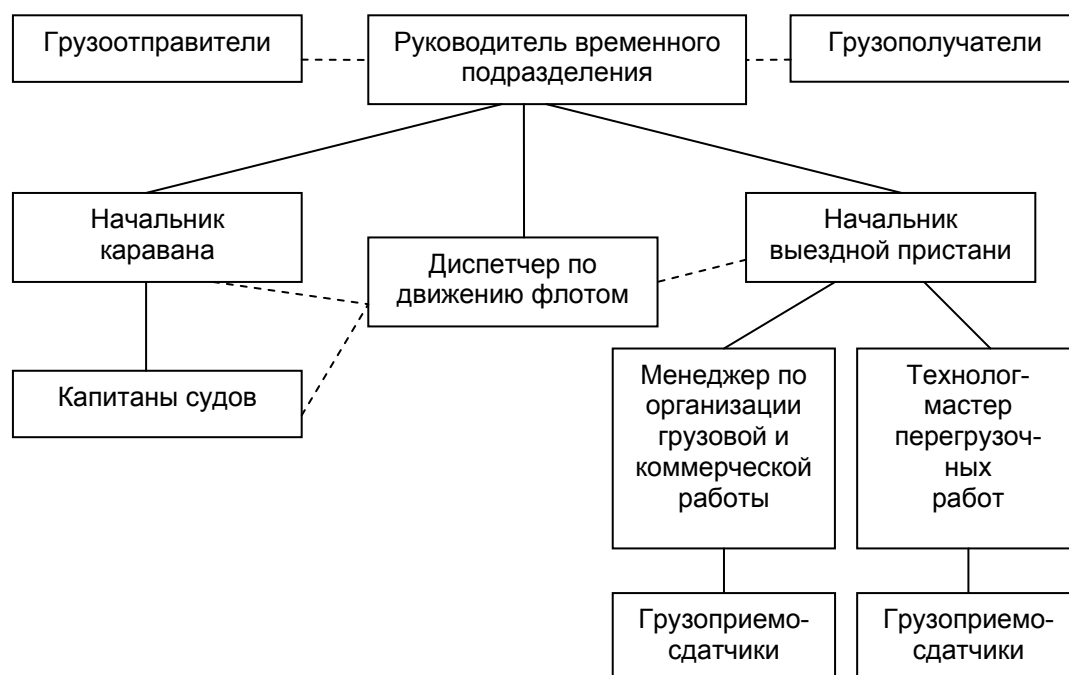


Рисунок 1 – Структура управления временного подразделения

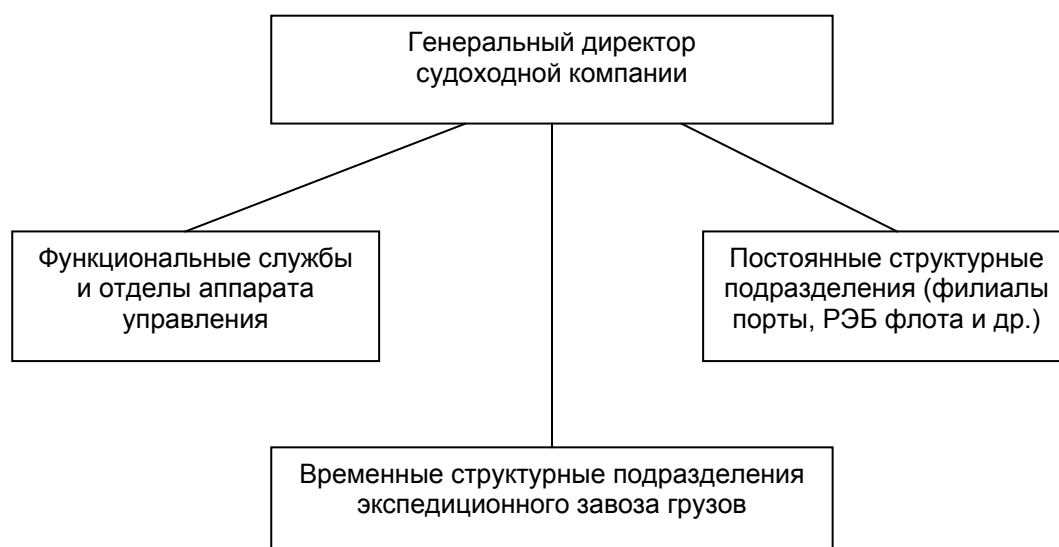


Рисунок 2 – Общая схема управления экспедиционным завозом грузов на притоки

Развитие и совершенствование организационных форм в современных экономических условиях обусловлены изменившимися приоритетами и мотивацией в работе промышленных и транспортных предприятий. На первом плане стремление к получению максимальной при-

были и здесь не всегда действуют этические нормы. В управлении производством приоритет отдается экономическим методам. В связи с этим принципы построения организационных структур управления, в том числе и территориальных ПТК должны измениться.

В то же время основные идеи, заложенные в формировании транспортных комплексов, востребованы при создании организационных структур взаимодействия транспорта и производства на рынке товаров и услуг. Такой структурой может оказаться ноосферный промышленно-транспортный комплекс (НПТК). Здесь учитывается отрицательное воздействие транспорта на атмосферу (особенно автомобильного) и на геологию; водные ресурсы, леса, животный мир, человек и др. Для своего движения он захватывает все большее количество земель, в том числе плодородных и необходимых для восстановления биомассы.

В связи с этим делается вывод, что удовлетворение жизненных потребностей населения должно осуществляться без ущерба для интересов будущих поколений и здесь необходимо перейти на новый путь развития – ноосферный.

В работе [5] сделаны попытки решения проблем вхождения транспорта в ноосферную технологию. Проведено комплексное исследование по оптимизации ноосферных транспортных систем Сибири и Дальнего Востока. Оценка потенциала, определение перспективных направлений развития осуществлялась на основе методов и моделей прогнозирования НПТК (транспортная модель, оптимизационная межотраслевая модель, программно-целевая функция прогнозирования, оценка эффективности развития, целевая долгосрочная программа развития НПТК).

Развитие промышленно-транспортного комплекса предусмотрено в основном техническое и технологическое. Разработаны требования к новым видам транспорта, обобщен опыт эксплуатации амфибийных судов на воздушной подушке, обоснованы рациональные сферы использования экранопланов. В то же время не в полной мере учтены изменившиеся экономические условия взаимодействия различных видов транспорта и потребителей транспортной продукции, развитие рыночных условий. Поэтому новая форма организации управления должна учитывать эти факторы. Кроме того, положительный опыт работы Томского ПТК необходимо сохранить для обеспечения сбалансированности в развитии элементов материально-технического снабжения, связи транспортной системы на длительную перспективу, взаимодействия и координации смежных звеньев инфраструктуры экономики региона, от правителей и получателей продукции.

Транспортно-технологическая система как организационная форма управления грузовыми перевозками также получила свое развитие. Основой для этого послужили логистические технологии доставки грузов по принципу: «от двери до двери», разработанные с использованием научных принципов транспортной логистики. Управление движением сырья, материалов и готовой продукции здесь осуществляется с момента возникновения потребности в товаре до ее удовлетворения с минимальными экономическими затратами. При этом учитываются не только затраты, связанные с движением (транспортировкой) товаров, но и сопутствующие. К ним относятся затраты по передаче, хранению и обработки информации, упущенная выгода и другие.

Наиболее полно логистические принципы проявляются при организации мультимодальных и интермодальных перевозок [6]. Здесь задействованы несколько видов транспорта, вовлеченных в перевозку грузов на всем пути следования по единой системе: «производства-транспортировка-потребление».

Использование логистических технологий при доставке грузов предполагает формирование определенных транспортных систем, которые называются логистическими. В их составе могут быть созданы терминалы и грузораспределительные центры.

Терминал представляет собой комплекс технических средств для выполнения всех операций с грузовыми единицами (транспортными емкостями) и подвижным составом.

Терминал представляет собой комплекс технических средств для выполнения всех операций с грузовыми единицами (транспортными емкостями) и подвижным составом.

Грузораспределительный (транспортно-логистический) центр является более сложным элементом в логистической системе он выполняет функции связующего звена между производителем и потребителем, обеспечивает единство технологического процесса работы всех технических средств транспортной цепочки при доставке грузов (рисунок 3). Взаимоотношения между ними регулируются соответствующими договорами и контрактами, где оговариваются условия доставки грузов и взаимные обязательства.

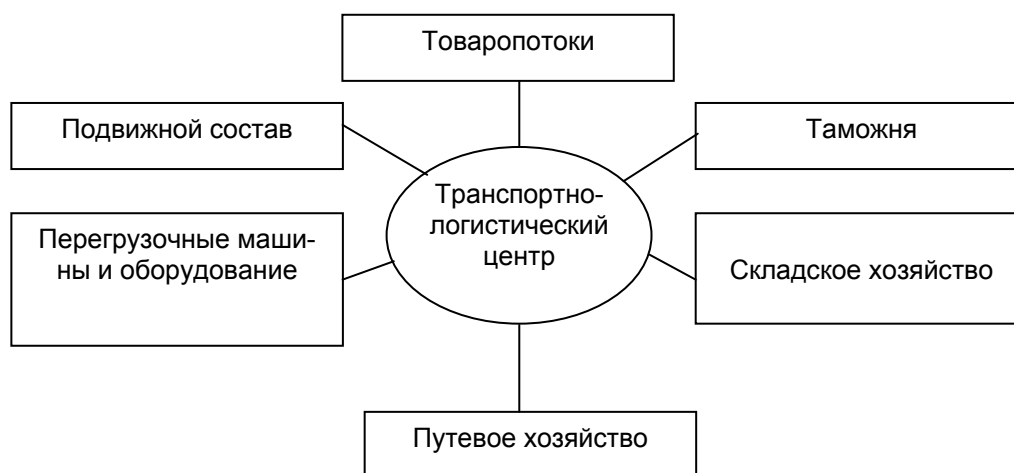


Рисунок 3 – Схема взаимодействия транспортно-логистического центра с элементами системы мультимодальных и интермодальных перевозок

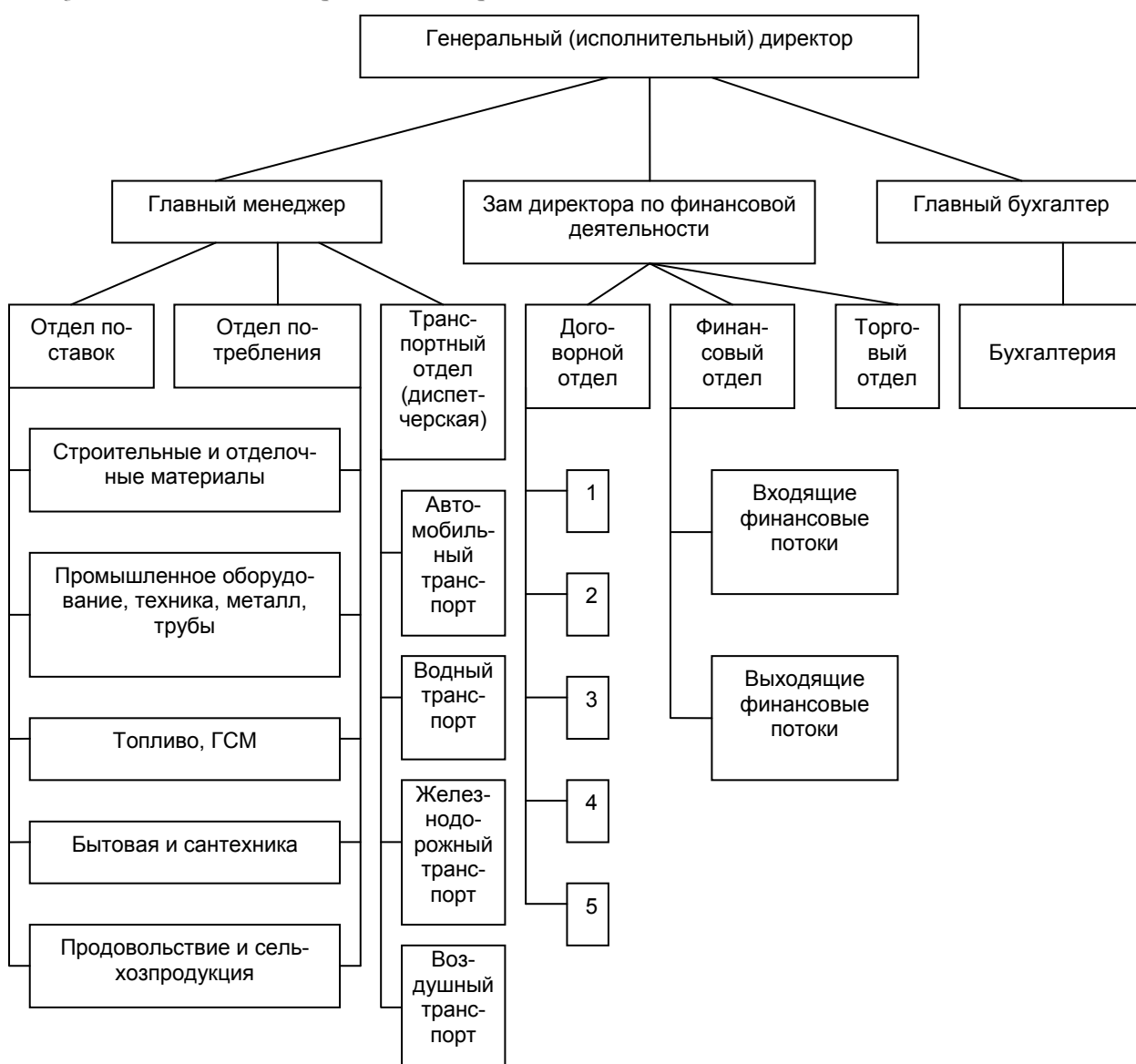


Рисунок 4 – Организационная структура управления транспортно-логистического центра

Транспортно-логистический центр по своей структуре представляет собой сложное иерархическое образование (рисунок 4). В ее состав следует включать различные функциональные службы и отделы, а также структурные подразделения для выполнения определенных функций и частных задач. Организационная структура «Центра» зависит от многих

внешних и внутренних факторов. Главным является деятельность по оказанию логистических услуг в управлении грузовыми перевозками. Он может быть организован при территориальном ПТК [3], как региональный. На внутреннем водном транспорте в виде «центра логистики» либо «отдела логистики» могут быть созданы при крупных судоходных компаниях для организации и координации работы других служб и отделов по управлению грузовыми перевозками и транспортным процессом. Кроме того, принципы транспортной логистики могут быть использованы при экспедиционном завозе грузов на притоки, развивая одну из организационных форм управления – временное функционально-структурное подразделение.

Таким образом, в результате анализа эволюции организационных форм управления грузовыми перевозками установлено, что, несмотря на изменение экономических условий хозяйственной деятельности неизменным являются единство технологических процессов работы всех участников транспортного процесса. Взаимовыгодное сотрудничество обеспечивает успешную деятельность не только в области организации перевозок, а также материально-технического снабжения и сбыта готовой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Артынов, А.П. Управление взаимодействием транспортных систем / А.П. Артынов, Г.А. Кондратьев. -М.: Наука, 1986. -197 с.
 - 2 Брюханов, Ю.Г. Транспортно-технологические системы доставки грузов / Ю.Г. Брюханов. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 1995. -104 с.
 - 3 Бунеев, В.М. Концепция и основные направления повышения эффективности организации управления грузовыми перевозками региона / В.М. Бунеев, А.В. Коль // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2004. -№2. -С. 15-21.
 - 4 Драчев, П.Т. Опыт работы Томского транспортного комплекса / П.Т. Драчев, В.П. Зачесов. -М.: Транспорт, 1989. -61 с.
 - 5 Драчев, П.Т. Оценка эффективности развития ноосферных промышленно-транспортных комплексов / П.Т. Драчев, В.А. Кноль. -Новосибирск: Наука, 1998.
 - 6 Милославская, С.В. Мультимодальные и интермодальные перевозки / С.В. Милославская, О.И. Плужников. -М.: Росконсульт, 2001. -368 с.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *грузовые перевозки, управление, организационные формы, эволюция*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Бунеев Виктор Михайлович, докт. экон. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавт»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»*

ФОРМИРОВАНИЕ УДЕЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ РАСХОДОВ ПО УРОВНЯМ УПРАВЛЕНИЯ ОАО «РЖД»

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

М.О. Северова

FORMATION OF SPECIFIC TRANSPORT EXPENSES ON MANAGEMENT LEVELS OF COMPANY RUSSIAN RAILWAYS
«Siberian state transport university»
M.O. Severova

Calculation of specific expenses in modern conditions should be carried out on the basis of the functional approach in view of a management level of the company and essential structural changes at this branch.

Keywords: territorial and functional branch, account rates, economic estimation, the cost price

Расчет удельных затрат в современных условиях должен осуществляться на основании функционального подхода с учетом уровня управления компании и существенных структурных изменений отрасли.

Не имея рычагов на механизмы ценообразования, естественные монополии в сложившейся экономической ситуации вынуждены искать внутренние резервы для повышения финансовой устойчивости и увеличения инвестиционного ресурса. Вследствие этого вопросы, связанные с определением эффективности эксплуатационной работы и оптимизацией издержек на разных уровнях управления, на основе анализа использования инфраструктуры и

подвижного состава в компании ОАО «РЖД» являются весьма актуальными.

Одним из важнейших показателей эффективности работы предприятий транспорта и компании в целом являются эксплуатационные расходы, уровень которых отражает эффективность использования трудовых, материальных, финансовых и других ресурсов. Происходящие в отрасли структурные преобразования существенно изменили подходы к проблеме учета и планирования транспортных затрат. Если ранее основным показателем, отражающим удельную величину издержек транспорта, считали себестоимость перевозок, которая определялась на 10 т-км и 10 пассажиро-км, теперь применение функционального подхода подразумевает определение себестоимости по видам деятельности, выделенным в Номенклатуре доходов и расходов.

Однако, особое место в технико-экономических расчетах принадлежит удельным расходам по отдельным измерителям эксплуатационной работы, которые широко использовались в практической экономической работе для денежной оценки ее количества и качества, а также определении экономического эффекта от различных организационно-технических мероприятий. ВНИИЖТом была разработана методика по экономической оценке показателей эксплуатационной работы железных дорог (1987 год) [1], которая широко применялась. Методика периодически пересматривалась в зависимости от действующей системы учета и отчетности, организационной структуры железнодорожного транспорта, регламентирующими и нормативными документами.

Изменение экономических, эксплуатационных и правовых условий работы железнодорожного транспорта привело к пересмотру действующей методики определения единичных и укрупненных расходных ставок по уровням управления. Новые методические рекомендации были утверждены в 2008 году [2]. Однако, дальнейшее реформирование железнодорожного транспорта привело к тому, что в рамках территориального филиала постепенно образуются новые функциональные Дирекции, которые впоследствии выделяются из рамок железной дороги, прекращают функционировать отделения дороги. Все это обусловило необходимость определения денежной оценки показателей эксплуатационной работы для различных уровней управления, по отдельным составляющим в части отраслевых хозяйств и функциональных дирекций.

Необходимо учитывать, что при одинаковом методическом подходе к определению удельных затрат на измерители эксплуатационной работы расчеты по каждой дороге будут иметь свои особенности, связанные со структурой управления конкретного территориального филиала. В качестве примера на рисунке 1 приведена существующая схема формирования одной из единичных расходных ставок (с учетом выделившихся подразделений) для Западно-Сибирской железной дороги (ЗСЖД).

Настоящая схема учитывает, что расходы Дирекции управления движением и дирекции по ремонту тягового подвижного состава пока отражены в расходах территориального филиала. Дальнейшее отделение этих структур предполагает изменение данной схемы. Для условий Красноярской железной дороги (КРЖД) эта схема уже выглядит следующим образом – рисунок 2. Однако и она не является окончательной, так как предполагается создание Дирекции инфраструктуры, которая будет осуществлять свою деятельность либо в рамках территориального филиала, либо на правах самостоятельной функциональной дирекции.

Таким образом, при расчете и применении удельных транспортных затрат в современных условиях необходимо учитывать следующее:

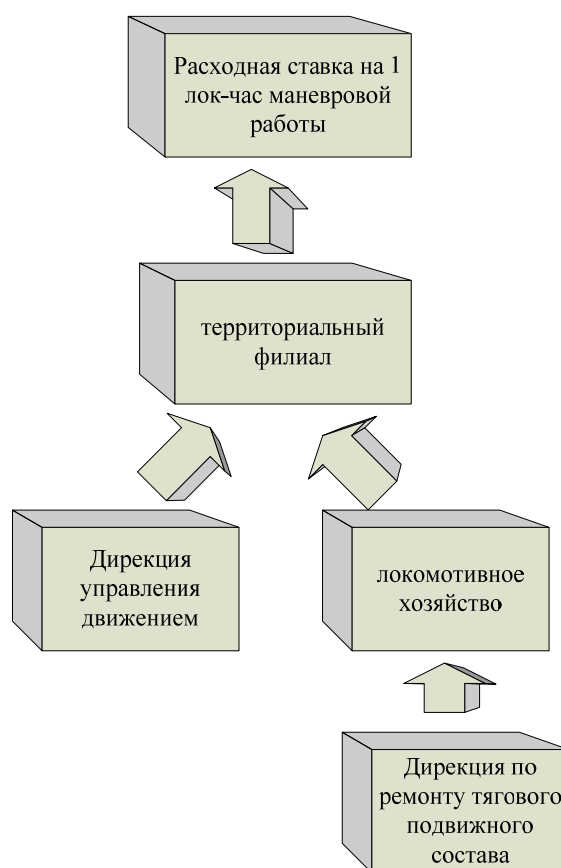


Рисунок 1 – Формирование расходной ставки для настоящей структуры управления для ЗСЖД

– Динамика рассчитываемых удельных расходов показывает, что их применение ограничено пределами периода, для условий которого они были определены. Индексация стоимостных показателей для использования в следующем временном интервале может привести к некорректным результатам [3].

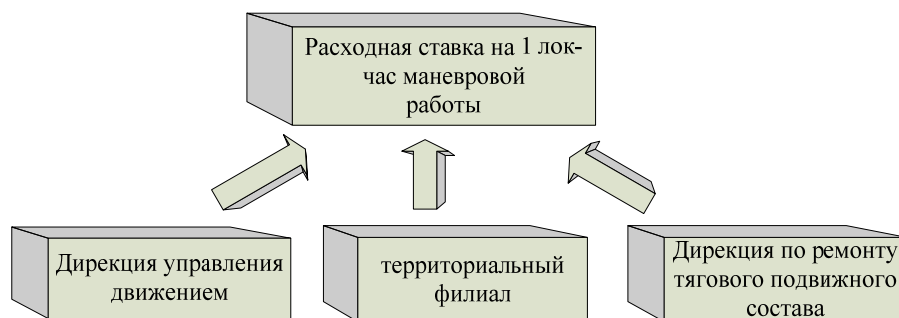


Рисунок 2 – Формирование расходной ставки для условий КРЖД

– Для решения внутрикорпоративных экономических задач, связанных с оценкой экономической эффективности конкретных мероприятий, проводимых в рамках железной дороги или ее структурных подразделений могут быть использованы удельные затраты без учета расходов, распределяемых централизованно и расходов функциональных филиалов. Для оценки мероприятий, выходящих за границы конкретной железной дороги, обоснования тарифов и расчетных цен при взаимодействии со сторонними потребителями, решения юридических споров удельные расходы должны определяться с учетом всех участников перевозочного процесса.

– Понятие удельных издержек транспорта формируется на современном этапе с учетом уровней управления, для которых они определены, что вызывает необходимость индивидуального подхода при расчете единичных и укрупненных расходных ставок в соответствии с действующей структурой управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Методические указания по экономической оценке показателей эксплуатационной работы железных дорог. -М., 1987. -58 с.

2 Методика и организация расчета укрупненных и единичных расходных ставок в условиях структурной реформы ОАО «РЖД». -М., 2008. -57 с.

3 Экономическая оценка показателей эксплуатационной работы Западно-Сибирской железной дороги и ее отделений (грузовое движение) / под общ. ред. А.П. Дементьева. - Новосибирск, 2008. -80 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: территориальный и функциональный филиал, расходные ставки, экономическая оценка, себестоимость

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Северова Марина Олеговна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРУДА РАБОЧИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ОАО «СибПромЖелдорТранс»

А.А. Давыдов

ALGORITHM OF AN ESTIMATION OF INTENSITY OF WORK OF THE WORKING ENTERPRISES OF AN INDUSTRIAL RAILWAY TRANSPORTATION

«SibPromZheldorTrans»

A.A. Davydov

The author's point of view on quantity measurement it is productive the spent work consists that various indicators can be for this purpose used. Actually work or time expenses, quantity of let out production (services), a labor expenditure, increase in number of served objects, structures, expansion of arena of work, working hours consolidation, degree of intensity of work, a work regularity, its monotony, quality, a continuity, expenses of muscular, nervous, intellectual, «motor» energy and etc. Separate indicators it is possible to apply it to the characteristic of expenses of productive work from the economic party, others – with organizational, the third – with physiological. Hence, it is important to choose the most objective criterion.

Keywords: view on quantity measurement it is productive the spent work, separate indicators it is possible to apply it to the characteristic of expenses of productive work from the economic party

Авторская точка зрения на измерение количества производительно затраченного труда состоит в том, что для этого могут быть использованы разнообразные показатели. Это собственно затраты труда или времени, количество выпущенной продукции (услуг), расходование рабочей силы, увеличение числа обслуживаемых объектов, составов, расширение арены труда, уплотнение рабочего времени, степень напряженности труда, регулярность труда, его однообразие, качество, непрерывность, затраты мускульной, нервной, интеллектуальной, «моторной» энергии и т.д. Отдельные показатели можно применять для характеристики затрат производительного труда с экономической стороны, другие – с организационной, третьи – с физиологической. Следовательно, важно выбрать наиболее объективный критерий.

Действенное средство рационального использования социально-экономических резервов на производстве – нормализация интенсивности труда. Вопрос важен как с теоретической, так и с практической точки зрения, так как есть необходимость совершенствования оценки объективных показателей качественного выражения общественно нормальной интенсивности труда. Существуют разные мнения по этому вопросу. Некоторые экономисты даже считают это ненужным для производства, так как производительность труда растет очень медленно, а в ряде случаев даже падает из-за неполноценного использования рабочего времени, а организации несут из-за этого большие убытки.

В структуре организации деятельности предприятий промышленного железнодорожного транспорта Сибири критерием нормальной интенсивности может служить максимальная производительность труда при сохранении высокой работоспособности человека в течение длительного времени. В общем виде этот показатель может быть представлен отношением производительных затрат в процессе труда к продолжительности рабочего времени

$$I_T = Z_T / P_T, \quad (1)$$

где I_T – интенсивность труда;

Z_T – количество затраченного труда;

P_T – продолжительность рабочего времени.

Для измерения количества производительно затраченного труда могут быть использованы разнообразные показатели. Это собственно затраты труда или времени, количество выпущенной продукции (услуг), расходование рабочей силы, увеличение числа обслуживаемых объектов, составов, расширение арены труда, уплотнение рабочего времени, степень напряженности труда, регулярность труда, его однообразие, качество, непрерывность, затраты мускульной, нервной, интеллектуальной, «моторной» энергии и т. д. Отдельные показатели можно применять для характеристики затрат производительного труда с экономической стороны, другие – с организационной, третьи – с физиологической.

Следовательно, важно выбрать наиболее объективный критерий. Как свидетельствуют многочисленные отечественные и зарубежные исследования, для практического измерения уровня интенсивности труда, отражающего его качество и степень напряженности жизненных сил работника в процессе производительной деятельности, целесообразно использовать ряд наиболее важных оценок. Это – плотность рабочего времени; темп труда; величина разового усилия; размеры арены труда работника, то есть количество одновременно обслуживаемых производственных объектов или осуществляемых трудовых действий.

При этом важно учитывать конкретные производственные условия. В каждом случае уровень относительной интенсивности устанавливается на основе сравнения выбранных фактических показателей с общественно нормальными, средними, нормативными или эталонными их значениями

$$K_{и} = P_{ф} / P_{н}, \quad (2)$$

где $K_{и}$ – коэффициент относительной интенсивности труда;

$P_{ф}$ – показатель фактических трудовых затрат;

$P_{н}$ – показатель общественно нормальных трудовых затрат.

В зависимости от применяемых исходных показателей, характеризующих количество затраченного труда в единицу времени в процессе производительной деятельности, по нашему мнению, можно рекомендовать для широкого использования следующий алгоритм оценки интенсивности труда рабочих (операторов, составителей, дежурных и др.) составителей и др. на станции.

Первым шагом необходимо определить коэффициент занятости рабочего в процессе производительного труда.

Зная его, можно определить коэффициент относительной интенсивности при выполнении однородных работ на основе соотношения производительности затраченного времени к установленной общей или нормативной продолжительности рабочего времени. Коэффициент занятости рабочего в общем случае рассчитывается по формуле

$$K_3 = T_p / T_H, \quad (3)$$

где T_p – фактические производительные затраты рабочего времени с учётом технологических и обеденных перерывов;

T_H – нормативная продолжительность периода времени работы.

С учетом принятого масштаба измерения затрат рабочего времени могут быть использованы различные коэффициенты для оценки интенсивности труда.

Коэффициент активной занятости рабочего

$$K_{аз} = T_{аз} / T_{оп}, \quad (4)$$

где $T_{аз}$ – время активной занятости рабочего;

$T_{оп}$ – оперативное время.

Коэффициент оперативной занятости

$$K_{оз} = T_{оп} / T_{шт}. \quad (5)$$

Коэффициент занятости (загрузки) человека в смену

$$K_{зс} = T_o / T_{см}, \quad (6)$$

где T_o – общее время выполнения работы за смену;

$T_{см}$ – продолжительность рабочей смены.

Рассчитанные по формулам (3)-(6) коэффициенты характеризуют уровень относительной интенсивности труда, значение которого не превышает 1,0. Все необходимые для расчетов данные можно получить путем непосредственного их измерения на рабочем месте.

Вторым шагом осуществляем расчеты затрат труда в единицу рабочего времени.

С помощью их можно оценить уровень относительной интенсивности труда при выполнении разнообразных операций на основе отношения необходимых затрат труда к фактическим затратам. С допустимой точностью расчетов за величину необходимых затрат труда могут быть взяты действующие научно обоснованные нормы времени, выработки, обслуживания, численности, управляемости и др.

Коэффициент относительной интенсивности труда при использовании норм времени может быть выражен следующей зависимостью

$$K_{и} = B_H + B_\phi, \quad (7)$$

где B_H – необходимое рабочее время;

B_ϕ – фактическое рабочее время.

Применяя в качестве исходных (базовых) нормы выработки, обслуживания и управляемости, можно определить коэффициент интенсивности труда по формуле

$$K_{и} = H_H / H_\phi, \quad (8)$$

где H_ϕ – фактические показатели;

H_H – нормативные показатели.

Установленный по формулам (7)-(8) коэффициент фактической интенсивности труда может соответствовать общественно нормальному ее уровню или отклоняться от него как в сторону снижения, так и повышения.

Третьим шагом будет учет темпа работы, определяющего количество выполненных трудовых действий в единицу времени, регулярность и непрерывность труда. Этот метод целесообразно применять при выполнении преимущественно ручного труда, механических, работ по ремонту локомотивов, текущего содержания пути и т. п. Коэффициент интенсивности труда определяется отношением фактического темпа работы к эталонному или нормативному его значению

$$K_{и} = T_\phi / T_э, \quad (9)$$

где T_ϕ – фактический темп работы;

$T_э$ – эталонный темп работы.

Нормативы темпа трудовых движений при выполнении ручных работ на предприятиях железнодорожного транспорта в свое время рассматривались Ю.А. Пикалиным (с 1995 по 2005 г.), что подтверждает действенность предлагаемого метода. При этом коэффициент

интенсивности труда по темпу работы рассчитывается на основе соотношения фактического темпа к нормативному (эталонному)

$$K_{\text{и}} = T_{\text{ф}} / T_{\text{э}}, \quad (10)$$

где $T_{\text{ф}}$ – фактический темп;

$T_{\text{э}}$ – эталонный темп.

Далее расчет скорости трудовых движений и действий, характеризующий как и темп работы, так и уровень относительной интенсивности труда при выполнении преимущественно ручных операций приведет к расчету коэффициента интенсивности труда по следующей формуле

$$K_{\text{и}} = V_{\text{ф}} / V_{\text{э}}, \quad (11)$$

где $V_{\text{ф}}$ – фактическая скорость трудовых действий;

$V_{\text{э}}$ – эталонная скорость трудовых действий.

Таким образом, используя разработанные эталонные нормативы скорости трудовых движений и действий, можно с высокой точностью рассчитать фактический уровень интенсивности труда.

Четвертый шаг заключается в расчете объема выполненной механической работы, характеризующий уровень расходования рабочей силы, человеческой энергии при осуществлении преимущественно тяжелого физического труда.

К нему в соответствии с межотраслевыми рекомендациями относятся такие виды работ, на выполнение которых расходуется человеческой энергии более 4,1 ккал/мин, или 250 ккал/ч, суммарно 2000 ккал в смену. Такие энергозатраты обеспечивают получение свыше 85 000 кгм полезной внешней механической работы за смену. Эти показатели могут быть взяты за верхние пределы нагрузок для человека, т. е. за уровень общественно необходимых затрат.

Применяя фактические и допустимые показатели реализованной в процессе производительного труда динамической работы, можно рассчитать уровень относительной интенсивности труда по формуле

$$K_{\text{и}} = A_{\text{ф}} / A_{\text{д}}, \quad (12)$$

где $A_{\text{ф}}$ – фактически выполненная механическая работа;

$A_{\text{д}}$ – допустимая механическая работа.

Объем выполненной полезной механической работы в единицу времени, определяющий уровень абсолютной интенсивности труда, может быть рассчитан по формуле

$$A = PL / t_{\text{в}}, \quad (13)$$

где P – разовое усилие или масса перемещаемых предметов;

L – длина перемещения предметов или траектория трудовых действий;

$t_{\text{в}}$ – время выполнения работы или трудовых приемов.

Пятым шагом определяем уровень расходов жизненной силы и человеческой энергии. Определение уровня расходов жизненной силы и человеческой энергии в процессе выполнения производительного труда, характеризующего величину мускульных затрат, нервной, интеллектуальной, «моторной» энергии и т.п. осуществляется в следующей последовательности.

Коэффициент относительной интенсивности труда рассчитывается по формуле

$$K_{\text{и}} = \mathcal{E}_{\text{ф}} / \mathcal{E}_{\text{д}}, \quad (14)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ф}}$ – фактический расход рабочей силы, человеческой энергии;

$\mathcal{E}_{\text{д}}$ – допустимый расход человеческой энергии.

С помощью этого метода может быть рассчитана абсолютная интенсивность труда, учитывающая комплексную оценку ее уровня при взаимодействии нескольких факторов, например, массы предметов, трудового усилия, темпа труда или скорости движений, структуры приемов и др.

Шестым шагом определяем интегральную оценку уровня интенсивности труда, в основе которого лежит учет экстенсивной и интенсивной характеристики процесса производительного труда рассчитывается по формуле

$$K_{\text{инт}} = K_{\text{э}} / K_{\text{и}}, \quad (16)$$

где $K_{\text{инт}}$ – интегральный коэффициент интенсивности труда;

$K_э$ – коэффициент экстенсивного использования рабочего времени;

$K_{ин}$ – коэффициент интенсивного использования рабочей силы, жизненной энергии человека.

В качестве показателя экстенсивного использования рабочего времени можно применять относительные коэффициенты занятости или загрузки рабочего, рассчитываемые по формулам (3)–(6). Показатели интенсивного использования рабочей силы могут быть взяты на основе коэффициентов интенсивности труда, определяемых по формулам (8)–(14). Таким образом, предлагаемые нами комплексные и интегральные методы оценки интенсивности труда позволяют наиболее полно учитывать влияние различных производственных факторов на уровень потребления рабочей силы и затрат труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бартунаев, Л.Р. Нормирование труда в России: сущность, состояние, пути совершенствования / Л.Р. Бартунаев. -М.: Изд-во РАГС, 2004.

2 Бартунаев, Л. Нормирование и стоимость труда / Л. Бартунаев // Человек и труд. - 2005. -№1.

3 Бакалова, О. Совершенствование методики оценки уровня организации труда / О. Бакалова, И. Панченко, Б. Буховцев // Социалист. труд. -1990. -№4. -С. 27-28.

4 Генкин, Б.М. Организация, нормирование и оплата труда на промышленных предприятиях: учеб. для вузов / Б.М. Генкин. -М.: НОРМА, 2003. -390 с.

5 Громов, Н.Н. Управление на транспорте / Н.Н. Громов, В.А. Персианов. -М.: Транспорт, 1990. -336 с.

6 Менеджмент на транспорте / Н.Н. Громов [и др.]. -М.: Академия, 2003. -528 с.

7 Экономика железнодорожного транспорта / В.А. Дмитриев [и др.]. -М., 1996. -328 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *измерение количества производительно затраченного труда, отдельные показатели можно применять для характеристики затрат производительного труда с экономической стороны*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Давыдов Алексей Анатольевич, экономист ОАО «СибПромЖелдорТранс»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630108, г. Новосибирск, ул. Станционная, 18/1, ОАО «СибПромЖелдорТранс»*

РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ДРУГИХ ФИЛИАЛОВ ОАО «РЖД» ПО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.П. Дементьев, Т.В. Беляева

RATING OF RAILWAYS AND OTHER FILIALS OF JSCO «RZD» BY SCIENTIFIC AND TECHNICAL INFORMATION «Siberian state transport university»

A.P. Dementiev, T.V. Belyaeva

The article presents the main points of methods for determining the rating of railways by scientific and technical information. Methodology was approved by the department of technical policy, «Russian Railways».

Keywords: scientific and technical information, rating, integral indicator, methodology

Приведены основные положения методики определения рейтинга железных дорог по научно-технической информации. Методика утверждена Департаментом технической политики ОАО «Российские железные дороги».

На современном этапе экономического развития информация о результатах научно-технической деятельности занимает приоритетное положение среди других видов информации. Информационные ресурсы, их создание, обработка и своевременное предоставление необходимой научно-технической информации (далее – НТИ) потребителю являются основой инновационного развития, играют важнейшую роль в формировании конкурентоспособности организаций и национальной экономики в целом.

Деятельность железных дорог по НТИ включает в себя большой спектр задач. Это организационно-методическое руководство деятельностью железной дороги по НТИ; справочно-

информационное обслуживание руководителей и специалистов; обобщение и распространение информации по основным направлениям развития и совершенствования железнодорожного транспорта; работа с техническими информаторами и экспертами; обработка и ввод информационных карт в автоматизированный банк данных; подготовка аналитических справок; издание и рассылка информационных листов; анализ деятельности по НТИ кабинетов технической информации и структурных подразделений; взаимодействие с дорожными научно-техническими библиотеками и т.д.

Обмен современными технологиями, новшествами и передовыми методами труда невозможен без грамотно выстроенной отраслевой системы НТИ, перехода на качественно новый уровень распространения и обмена информацией. В этих условиях актуализируется задача повышения эффективности и оптимизации деятельности подразделений системы НТИ ОАО «РЖД» на основе грамотного управленческого воздействия.

В современной практике экономической оценки деятельности предприятий, организаций и их структурных подразделений широкое распространение получили различные методы рейтинговой оценки, как способа организации информации, одного из наиболее эффективных инструментов информационной инфраструктуры экономики.

Основные положения разработанной автором «Методики определения рейтинга железных дорог (других филиалов) по научно-технической информации» были заслушаны и обсуждены на двух сетевых школах, проведенных Департаментом технической политики ОАО «РЖД». С 1 января 2009 г. Методика утверждена как отраслевая и применяется в практической деятельности Компании.

Процедура определения рейтинга железных дорог (других филиалов) по НТИ представляет собой совокупность организационных подходов и специальных приемов (методов), применяемых для обработки экономической информации с целью определения комплексной интегральной оценки их деятельности и последующего ранжирования железных дорог (других филиалов) в общей системе НТИ ОАО «РЖД».

Система оценочных показателей в данной Методике применяется в соответствии с решением сетевой школы передового опыта на Красноярской железной дороге (протокол № ЦТех-96/пр от 20-22 августа 2008 г.):

- внедрение новшеств и передового производственного опыта, заимствованных из информационных источников;
- годовой экономический эффект;
- составлено информационных карт с индексом «2» и «3»;
- введено информационных карт в отраслевую базу данных АИПС НТИ;
- издано информационных листов;
- абоненты ИРИ, обслуживаемые работниками ДЦНТИ и КТИ.

Кроме того, в рейтинговой оценке учитывается напряженность труда одного работника ДЦНТИ, непосредственно занятого вопросами по НТИ. Она определяется отношением эксплуатационного контингента железной дороги к количеству работников ДЦНТИ, занимающихся вопросами НТИ.

При расчете рейтинга по конкретному филиалу используется характерный для него набор показателей. Для железных дорог – это шесть вышеперечисленных показателей и характеристика напряженности труда одного работника ДЦНТИ, занятого непосредственно работой по НТИ. Для других производственных филиалов, имеющих сеть региональных подразделений (дирекций) это:

- внедрение новшеств и передового производственного опыта, заимствованных из информационных источников;
- годовой экономический эффект;
- составлено информационных карт с индексом «2» и «3»;
- подготовлено материалов и передано в ДЦНТИ для издания информационных листов.

Матрица исходных показателей представляет собой таблицу 1.

Абсолютные значения количественных оценочных показателей пересчитываются на 1000 человек эксплуатационного штата:

- абсолютные значения количественных показателей НТИ железной дороги (за исключением показателя «абоненты ИРИ, обслуживаемые работниками ДЦНТИ и КТИ») делятся на эксплуатационный контингент железной дороги;
- абсолютные значения показателя «абоненты ИРИ, обслуживаемые работниками

ДЦНТИ и КТИ» ($H_{ири}$) по каждой железной дороге делятся на количество специалистов ДЦНТИ и КТИ, обслуживающих абонентов ИРИ

$$H_{ири} = \frac{Ч_{ири}}{Ч_{ири(дцнти)}}, \quad (1)$$

где $Ч_{ири}$ – количество абонентов ИРИ, обслуживаемых специалистами ДЦНТИ и КТИ, человек;

$Ч_{ири(дцнти)}$ – численность специалистов ДЦНТИ и КТИ, обслуживающих абонентов ИРИ, человек;

– абсолютные значения количественных показателей НТИ по дирекциям делятся на эксплуатационный контингент Региональной дирекции, расположенной в границах железной дороги.

Таблица 1 – Показатели деятельности железных дорог (других филиалов) по НТИ в натуральном выражении

Железные дороги (другие филиалы)	Количественные значения оценочных показателей по железной дороге (другому филиалу)					Численность эксплуатационного контингента железной дороги (другого филиала)	Численность работников ДЦНТИ, занимающихся работой по НТИ
	1	2	3	...	X		
...							

Итоговое значение каждого количественного показателя по каждой железной дороге, другому филиалу или совместно по железной дороге и региональным подразделениям других филиалов (дирекций) будет получено как сумма показателей, деленных на соответствующий эксплуатационный контингент.

При определении итоговых значений следующих количественных показателей:

- составлено информационных карт с индексом «2» и «3»;
- введено информационных карт в отраслевую базу данных АИПС НТИ;
- издано информационных листков;
- абоненты ИРИ, обслуживаемые работниками ДЦНТИ и КТИ

учитываются все исходные данные по железным дорогам и другим филиалам, так как специалисты ДЦНТИ и КТИ обслуживают всех абонентов ИРИ, обрабатывают информационные карты и вводят их в отраслевой банк данных, издают информационные листки по материалам других филиалов.

Значение качественного показателя «эксплуатационный контингент железной дороги, приходящийся на одного работника ДЦНТИ, занимающегося работой по НТИ» (H_p) определяется для каждой железной дороги по формуле

$$H_p = \frac{Ч_о}{Ч_{дцнти}}, \quad (2)$$

где $Ч_{дцнти}$ – численность работников ДЦНТИ, занимающихся работой по НТИ, человек.

На основании выполненных расчетов заполняется таблица 2 относительных значений оценочных показателей. Данные таблицы 2 переносятся в разработанную авторами программу «Рейтинг»

Таблица 2 – Показатели деятельности железных дорог (других филиалов) по НТИ в расчете на 1000 человек эксплуатационного штата

Железные дороги (другие филиалы)	Суммарные значения показателей железной дороги (других филиалов) на 1000 человек эксплуатационного контингента				Значение качественного показателя
	X_1	X_2	X_3	...	X_j
...					

Определяется значимость (коэффициент потенциала) каждого показателя как отношение максимального количественного значения j-го показателя (пересчитанного на 1000 человек) среди оцениваемых объектов системы (железных дорог, других филиалов) к его минимальному значению

$$p_j = X_{\max j} / X_{\min j}, \quad (3)$$

где p_j – коэффициент потенциала (значимости) j -го показателя;

$X_{\min j}, X_{\max j}$ – соответственно минимальное и максимальное количественное значение j -го показателя среди оцениваемых объектов системы (железных дорог, других филиалов).

При расчете коэффициента потенциала максимальное и минимальное значения каждого показателя игнорируются. Таким образом, в формулу подставляются второе и предпоследнее по величине значение каждого показателя.

Затем все разноименные значения элементов матрицы переводятся в их нормированные аналоги. Нормированный аналог k_{ij} количественного значения j -го показателя i -той железной дороги (другого филиала) определяется по формуле перевода

$$k_{ij} = \frac{(x_i - x_{\min i})(k - 1)}{x_{\max i} - x_{\min i}},$$

где k – число уровней для нормирования разноименных количественных значений оценочных показателей ($k = 2, 3, \dots, 12$), которое задается управляющим органом при расчете;

x_i – количественное значение j -го оценочного показателя;

$x_{\min i}, x_{\max i}$ – соответственно минимальное и максимальное количественное значение j -го показателя среди оцениваемых железных дорог (объектов системы).

Полученные нормированные значения показателей и коэффициенты потенциала показателей формируют итоговую таблицу 3.

Комплексным показателем оценки деятельности железных дорог (других филиалов) по НТИ является рейтинг (интегральное качество)

$$R_i = \sum_{j=1}^n k_{ij} p_j; i = 1, \overline{m}, \quad (5)$$

где R_i – рейтинг i -ой железной дороги (другого филиала);

k_{ij} – качественная оценка i -ой железной дороги (другого филиала) по j -му оценочному показателю;

n – количество оценочных показателей деятельности железных дорог (других филиалов) по научно-технической информации, принятых для расчета рейтинга;

m – количество объектов системы (железных дорог, других филиалов);

p_j – коэффициент потенциала каждого показателя на данном этапе функционирования системы.

Первое место присваивается железной дороге (другому филиалу), имеющей максимальный рейтинг, последующие места присваиваются в порядке убывания рейтинга.

Таблица 3 – Определение рейтинга и ранжирование

Железные дороги (другие филиалы)	Нормированные значения оценочных показателей					Рейтинг	Место (ранг)
	k_1	k_2	k_3	...	k_j		
...							
Коэффициент потенциала	p_1	p_2	p_3	...	p_i		

Неравномерность качественных оценок по любому показателю (коэффициент потенциала) – это сигнал о том, что необходимо воздействие, и тем более существенное, чем больше эта неравномерность. Управляющий орган всей системы объектов должен проанализировать причины, которые привели к значительным расхождениям результатов на разных железных дорогах (других филиалах) и принять надлежащие меры к устранению этой неравномерности.

Небольшой разброс значений некоторого показателя говорит о его стабильности для всех объектов. Если качественные оценки по стабильному показателю высокие, то никакие управленческие воздействия пока не требуются, нужен только контроль. Если же качественные оценки низкие, то их низкая устойчивость, возможно, кроется не в самих объектах. Имея недостаточные потенциальные возможности (технические, организационные, финансовые и

т.п.) для выполнения задания, объекты с этим заданием не справились и получили низкие качественные оценки.

Если некоторый показатель в динамике сохраняет малую энтропию с высокими качественными показателями, возможно, этот показатель пора убрать из системы оценочных показателей, поскольку все объекты довели его выполнение до стабильно высокого уровня, и заменить другим.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: научно-техническая информация, рейтинг, интегральная оценка, методика
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дементьев Алексей Петрович, канд. экон. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»
Беляева Татьяна Владимировна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СТРУКТУРЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА НА БАЗЕ КАЧЕСТВЕННО «НОВОЙ» РАБОЧЕЙ СИЛЫ

ОАО «Российские железные дороги»

П.Н. Рубежанский

FORMATION OF EFFECTIVE STRUCTURE OF THE ORGANIZATION OF WORK ON THE BASIS OF QUALITATIVELY «NEW» LABOR
«Russian Railways»
P.N. Rubezhanskiy

As shows experiment of the countries with the developed market economy, the organization of manufacture and work rationing are traditionally considered as the major components of corporate governance. The establishment of expenses of work on the basis of rationing contacts planning, the manufacture and management organization, motivation of work. The author comes out the assumption that the major direction of efficiency of the organization of work the enterprises is creation of standard base of the account and control of expenses of «live» work, decrease in costs on labor, perfection of system of stimulation and payment.

Keywords: organization of manufacture and work, the establishment of expenses of work

Как показывает опыт стран с развитой рыночной экономикой, организация производства и нормирование труда традиционно рассматриваются в качестве важнейших составляющих корпоративного управления. Установление затрат труда на основе нормирования связывается с планированием, организацией производства и управления, мотивацией труда. Автором высказывается предположение о том, что важнейшим направлением эффективности организации труда предприятиях является создание нормативной базы учёта и контроля затрат «живого» труда, снижения издержек на рабочую силу, совершенствование системы стимулирования и оплаты труда.

На основании теории экономического анализа можно сделать вывод о том, что необходимым условием социально-экономического развития общества (а в условиях рынка особенно) является повышение эффективности экономической деятельности промышленного производства при одновременном усилении её социальной направленности, соблюдая наиболее полно учёт интересов и потребностей человека во всех сферах его деятельности и в первую очередь в сфере труда.

Одним из важнейших средств решения этих задач призвано стать совершенствование управления организацией труда любого социально-экономического объекта производственно-хозяйственного комплекса страны.

Ненаучный подход к организации труда на отдельных предприятиях транспорта стал причиной серьёзного «тормоза» для использования в железнодорожном производстве эффективных организационных решений. Отечественный и зарубежный опыт подсказывает, что любые попытки директивно внедрять систему НОТ (посредством планов, коллективных форм организации труда, аттестации и рационализации рабочих мест и др.) неизменно встречают скрытое сопротивление со стороны работников и перерождаются в формальные меры, не способные заметно воздействовать на экономику.

После отказа от административно-командного воздействия на деятельность предприятий в области организации труда не удалось найти новых форм этой работы даже в устойчивых корпоративных образованиях, как ОАО «РЖД», ГазПром и т.д.

Недостатки, присущие организации труда предприятий во многом обусловлены несовершенством хозяйственного механизма, излишней централизованной «зарегламентированностью», особенно в области нормирования труда и заработной платы.

Внедрение рыночных отношений устраняет все препятствия и ограничения в части ор-

ганизации труда, создаёт условия для ее стимуляции и совершенствования. Однако в то же время требуется переосмысления роли и места организации труда в системе управления эффективностью производства, определение необходимых организационно-экономических условий и мер, обеспечивающих их активное воздействие на повышение экономических результатов, поиск новых форм и методов проведения этой работы.

Формы и методы совершенствования организации труда разнообразны. Как показывает опыт стран с развитой рыночной экономикой, организация производства и нормирование труда традиционно рассматриваются в качестве важнейших составляющих корпоративного управления. Современные руководители понимают, что экономическое положение предприятий, их техническое и социальное развитие всё более будут зависеть от снижения всех видов производственных издержек, в том числе и затрат труда. Установление затрат труда на основе нормирования связывается с планированием, организацией производства и управления, мотивацией труда. Важнейшим направлением экономической мысли на капиталистических предприятиях является создание эффективной нормативной базы затрат, усиление учёта и контроля затрат «живого» труда, снижения издержек на рабочую силу, совершенствование системы стимулирования и оплаты труда.

Особое значение в развитых странах придаётся вопросам совершенствования организации труда и управления как важнейшему средству реализации теорий массового обслуживания и гуманизации труда, которые нашли отражения в различных законодательных актах, правилах, программах, стандартах и коллективных договорах.

В России созданы важнейшие институциональные условия (Гражданский кодекс, Трудовой кодекс РФ, целевые программы и структурные реформы различных деятельности) которые позволяют руководителям предприятий обратиться к проблемам совершенствования организации управления трудом, которым в постперестроечный период достаточного внимания не уделялось.

Процесс преодоления внутренних и внешних барьеров преобразований во многом зависит от организационной структуры, психофизиологического состояния персонала, социально-политической ситуации и т.д. Во все времена, в любой сфере деятельности, лучше организованный труд при равной его оснащённости обеспечивал достижение более высоких результатов (рисунок).

Поспешным примитивным и нерациональным решениям в области организации труда должен быть поставлен надёжный противовес – научная организация труда, при которой практическому внедрению конкретных мероприятий предшествует тщательный научный анализ трудовых процессов и условий их выполнения. Структуру комплекса организации труда составляют элементы, объединённые в соответствующие подсистемы, а также взаимосвязи между ними. При этом состав элементов полностью отражает цель, задачи, общие критерии оценки организации труда, содержание, направления и виды эффективной деятельности системы организации труда, ориентированных на достижение конкурентоспособных результатов и развитие НОТ.

Первичным элементом системы организации труда является состав работ в трудовом процессе производства, выполняемых отдельным человеком, группой или коллективом. Этот перечень характеризуется объемом, содержанием и уровнем сложности в их единстве и оказывает решающее воздействие на уровень использования рабочего времени и загрузки оборудования.

Для объединения индивидуальных и коллективных трудовых процессов в совокупный, необходимы определенные взаимосвязи и взаимодействия в процессе труда: между работами (рабочими местами) основного, основного и вспомогательного производства, между рабочими и специалистами и т.д. Они носят как производственно-технологический, так и социально-экономический характер. Количественная, качественная, пространственная и временная определенность этих взаимосвязей и взаимодействий образует конкретные формы организации труда.

В современных условиях, как на образование, так и на развитие связей такого рода все в большей степени воздействуют не производственно-технологические, а социально-экономические факторы. Все эти взаимосвязи, а также формы организации труда образуют второй важнейший элемент системы организации труда – взаимодействие в процессе труда (кооперации). Подсистема организации трудовых процессов (первая подсистема) в совокупности определяют виды (структуру) работ и систему взаимодействия, связанных с непосредственным содержанием и производственными целями осуществления процесса труда.

Труд любого человека осуществляется в определенных временных и пространственных границах и условиях. К временным условиям относятся междусменные и внутрисменные режимы труда и отдыха (количество и продолжительность смен, графики сменности работы, продолжительность и чередование периодов труда и отдыха внутри смены и др.). Организация труда в пространстве обусловлена взаимным расположением технологического оборудования, средств организационной и технической оснастки и т.д. как на рабочем месте, так и в бригаде, на участке, в цехе. В процессе труда человек использует специальные приспособления, мебель, отдельные предметы, составляющие средства организационного оснащения. Состав, конструктивные качества и техническое состояние оргоснастки существенно влияют на уровень организации труда.

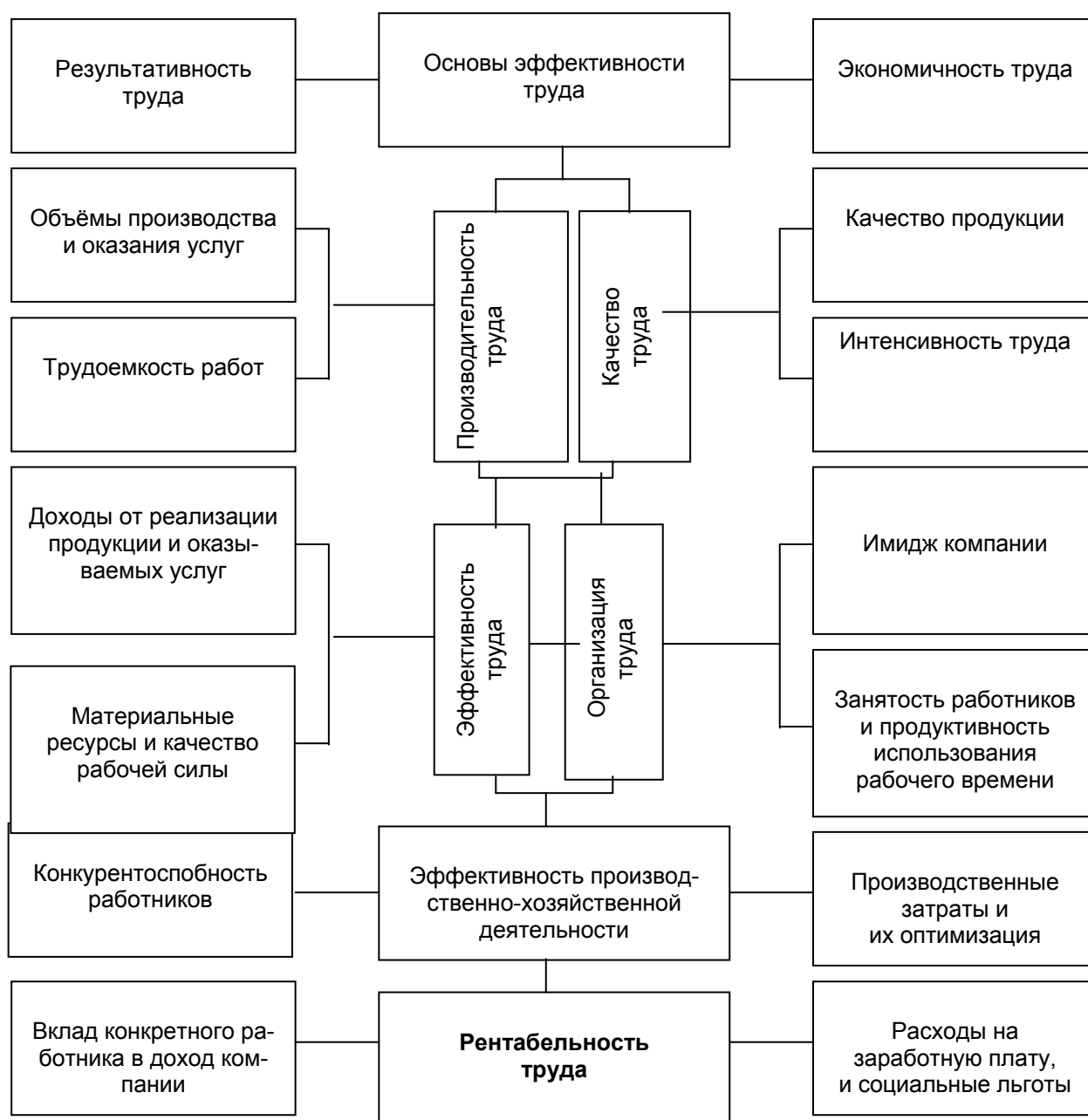


Рисунок – Взаимосвязи факторов эффективности труда в общественном производстве

Вторая подсистема – количественные и качественные характеристики временных и пространственных условий труда, организационного оснащения, а также состояние производственных помещений — общий порядок, чистота и эстетическое оформление, то есть культура производства, образуют в комплексе подсистему организационных условий труда, в которых функционирует работник на конкретном предприятии и которые регулируются с помощью организационных, а не технических решений.

Третья крупная подсистема организации труда – кадровое обеспечение. Оно выступает

непосредственной предпосылкой трудовых процессов, фактически предшествует началу их осуществления. Ее составляют следующие элементы: порядок подбора кадров (поиск, прием и оформление на работу, способы профотбора, воспроизводство качественно «новой» рабочей силы, адаптация работников и др.), подготовка кадров (обучение, повышение квалификации) и их расстановка.

Четвертая подсистема определяет место работника (отдельного коллектива) в производственном процессе, с одной стороны, и в профессионально-квалификационной структуре предприятия – с другой. Создание этой системы в наибольшей мере обуславливает важнейшую характеристику уровня организации труда – соответствие работника выполняемым операциям по всему комплексу параметров (профессия, квалификация, психофизиологические качества).

Подсистемы организации трудовых процессов и их кадрового обеспечения в сочетании создают принципиальную возможность осуществления трудового процесса, а значит, и существования системы организации труда в целом. Однако они не определяют полностью ее эффективность. Существенное воздействие на это оказывают отношение работника к делу, заинтересованность (или не заинтересованность) в результатах своего труда и коллектива в целом, в работе на данном предприятии и т.д. Оно определяется широким спектром социально-экономических факторов. Среди них важнейшие – виды и методы материального и социального поощрения. Кроме того, в современных условиях новые стимулы дает участие трудящихся в управлении производством.

Системы стимулирования труда и самоуправления трудящихся составляют пятую крупную подсистему – социально-экономической мотивации труда.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *организация производства и нормирование труда, установление затрат труда на основе нормирования*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Рубежанский Петр Николаевич, канд. экон. наук, советник президента по внешнеэкономическим связям ОАО «РЖД»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *107174, г. Москва, ул. Новая Басманная, 2, ОАО «РЖД»*

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СПЕЦИАЛИСТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.П. Дементьев, Л.Н. Аршба

SUPPLEMENTARY EDUCATION AS THE FACTOR OF GROWTH OF THE SPECIALIST'S COMPETITIVENESS IN RAILWAY INDUSTRY

«Siberian state transport university»

A.P. Dementjev, L.N. Arshba

The analysis of modern industrial requirements for specialists of financial and economic bloc for the purposes of «The strategies of development of the human resources potential of Open JSC «Russian Railways» (RZD) up to 2015» is carried out in the article. The Innovation model of professional competence development for the purpose of their competitiveness growth within a particular corporation is proposed.

Keywords: competitiveness, competence, supplementary education, specialist of financial and economic bloc

Проведен анализ современных отраслевых требований к специалистам финансово-экономического блока в контексте «Стратегии развития кадрового потенциала ОАО «РЖД» на период до 2015 года» и предложена Инновационная модель формирования профессиональной компетентности с целью повышения их конкурентоспособности в рамках отдельно взятой корпорации.

Руководитель ОАО «РЖД» В.В. Якунин, говоря о важнейших задачах железнодорожной отрасли на современном этапе реформирования, в частности, отмечал, что «новые условия хозяйствования и нарастающее несоответствие организации производства на железнодорожном транспорте и задач экономического роста в стране ставят проблему поиска новых, неординарных путей повышения эффективности работы отрасли, отвечающих требованиям рыночной экономики». Это связано с тем, что изменения, происходящие и в железнодорожной отрасли, и в экономике страны в целом, прежде всего, требуют новых подходов к подго-

товке и повышению квалификации кадров.

Для реального повышения эффективности работы всех звеньев компании необходимо совершенствовать комплексную профессиональную подготовку специалистов железнодорожного транспорта, нацеленную на повышение конкурентоспособности её работников. Конкурентоспособность обеспечивается за счет высокого уровня профессионализма и компетентности, личных качеств, инновационного и мотивационного потенциала.

Наиболее оптимально развивать профессиональные компетенции еще во время обучения в вузе, когда получение знаний для будущего специалиста является естественным процессом: учащийся внутренне нацелен именно на получение знаний, именно это является его главной и единственной задачей.

В настоящее время в железнодорожных вузах, как и во всех российских высших учебных заведениях, идет процесс перестройки учебного процесса на двухуровневую систему: подготовку бакалавров (4 года) и магистров (6 лет). Сравнение двухуровневой системы высшего образования с действующей системой подготовки специалистов происходит не всегда в пользу первой, так как компетентностный подход несколько снижает уровень общей и профессиональной подготовки выпускников, но не снижает требования заказчика.

Одной из задач шестилетнего обучения (бакалавриат с последующей магистратурой) является подготовка специалиста к академической карьере. Железнодорожная же отрасль нуждается не столько в специалистах с мощной теоретической подготовкой или в учёных, сколько в компетентных профессионалах. При этом специалисты-выпускники должны, на наш взгляд, не только владеть теоретической информацией, практическими навыками и умениями в своей профессии, но и обладать необходимыми знаниями в области техники и технологии, управления экономикой и финансами, быть способными к осуществлению аналитической деятельности, к принятию грамотных профессиональных решений.

Говоря об бакалавриатских учебных планах в сравнении с учебными планами экономических специальностей отраслевого образования, которое традиционно имело инженерно-экономический характер, можно в качестве основного недостатка отметить существенное снижение инженерной подготовки специалистов на профессиональном уровне (на 670 ч). Кроме того, на 8,3% уменьшилась и доля специальных дисциплин. В учебном плане также сокращаются виды и продолжительность производственных практик – с 16 до 6 недель, что значительно увеличит сроки апробации знаний и адаптации специалиста в профессиональной отраслевой среде.

Такое резкое сокращение инженерной и специальной (отраслевой) подготовки, безусловно, скажется на профессиональном уровне специалиста, подготовленного для работы на предприятиях железнодорожного транспорта, понизит его конкурентоспособность в отрасли. Решению возникающих проблем при переходе на двухуровневую модель высшего образования в области экономики и менеджмента может послужить развитие новых вариантов дополнительной подготовки бакалавров с увеличенной долей профессиональной подготовки в одной из прикладных областей экономики и менеджмента железнодорожной отрасли.

Это может существенно усилить профессиональную направленность обучения, способствовать овладению основами бизнес-компетенций: методами корпоративного, финансового управления, менеджмента качества и другими важными для успешной профессиональной деятельности знаниями.

Одной из основных причин внедрения программ дополнительного обучения в железнодорожных вузах является реформирование отрасли. Именно с этим связана необходимость укомплектования компетентными молодыми специалистами вновь созданных управленческих вертикалей, выделенных дочерних и зависящих обществ и т.д. Вторая причина – необходимость предварительной профессиональной и корпоративной адаптации перспективных студентов для успешного закрепления на будущих рабочих местах и повышения их конкурентоспособности внутри компании. Третья причина – это укрепление и развитие корпоративной культуры, которая является одним из важных факторов успешной деятельности отрасли в конкурентной среде. Для этого в обучающие программы вводят предметы, связанные с общечеловеческой культурой, с историей становления компании, что существенно способствует развитию и поддержанию корпоративности.

Дополнительная подготовка студентов сегодня – это продуманная система обучения будущих специалистов отрасли, в рамках которой и для достижения её целей используются все традиционные формы бизнес-образования. Основными составляющими образовательного процесса являются: бизнес-тренинги, проблемно-проектные семинары, стажировки,

российские и зарубежные «обучающие экспедиции». Современная система дополнительного образования предполагает наряду с классическими формами обучения применение нестандартных (необычных) инструментов, в связи с этим для каждого участника образовательной программы такого рода разрабатывается индивидуальная система личностного роста. Она включает в себя комплексную оценку данного студента, составление перспективных планов его развития, выполнение индивидуальных проектов и стажировок, за которые несет ответственность конкретный наставник на производстве.

Одним из базовых условий решения этих задач является прямое и косвенное участие высококвалифицированных специалистов компании ОАО «РЖД» и других предприятий железнодорожного транспорта в программах дополнительной подготовки студентов. Стабильное сотрудничество университетов с потенциальными работодателями позволит оперативно перестраивать учебные программы и адаптировать подготовку специалистов к конкретным нуждам предприятий. Именно поэтому учебный процесс должен координироваться Компанией и в нем должны принимать участие внутренние специалисты компаний железнодорожной отрасли (в качестве преподавателей-тренеров). Сутью сотрудничества учебного заведения и отрасли собственно и является взаимный обмен и обогащение знаниями.

Дополнительное обучение такого рода способно дать будущему специалисту реальное погружение производственный процесс и проблемы компании, так как освоение прогрессивных и необходимых для развития отрасли бизнес-технологий происходит с учетом всей специфики работы отрасли. В обучающих тренингах и семинарах используются профессионально разработанные кейсы и деловые игры, основой которых являются реальные производственных ситуации, принимают участие специалисты железнодорожной отрасли – будущие коллеги студентов. В программах курсов предусмотрено рассмотрение «живых» проблем, внедрены именно те методики, которые позволяют достичь высокой эффективности деятельности компании. Важное отличие организованного таким образом образовательного процесса как раз и состоит в том, что в конечном итоге он нацелен на повышение прибыли компании.

Образовательная программа дополнительного обучения разрабатывается «под потребителя» и строится по модульному принципу. Каждый модуль включает в себя цикл лекций, тренинг-семинаров, которые объединены содержательной логикой, обучение строится на применении разнообразных интерактивных методов взаимодействия в группе: от ролевых игр до разбора и анализа бизнес-кейсов.

Эффективность обучения и его качество оценивается с помощью мониторинга учебного процесса, в соответствии с результатами которого по мере необходимости корректируется программа, а по завершению обучения его эффективность определяется степенью удовлетворенности работодателя.

Примером такого обучения может быть «Инновационная модель формирования профессиональной компетентности специалистов финансово-экономического блока» – модульная система дополнительного образования для студентов экономических профилей уровня бакалавра. Предложенная инновационная модель разработана и апробирована в Сибирском государственном университете путей сообщения по одному из направлений дополнительного образования – финансовое управление железнодорожной корпорацией.

Исследование степени удовлетворенности работодателя качеством профессиональной подготовки молодого специалиста, проведенное на целевой группе выпускников экономических специальностей СГУПС, трудоустроенных и работающих в предприятиях железнодорожного транспорта позволило сделать выводы об их конкурентоспособности в рамках этих предприятий и отрасли в целом. Это можно объяснить качеством подготовки опрошенных выпускников, которые участвовали в реализации программы «Инновационная модель формирования профессиональной компетентности специалистов финансово-экономического блока» и прошли курс дополнительного обучения.

На основании опыта, полученного в процессе реализации программы дополнительного образования «Инновационная модель формирования профессиональной компетентности специалистов финансово-экономического блока», можно сделать заключение о том, что аналогичные программы дополнительной специализированной подготовки могут быть ориентированы на подготовку студента и по другим направлениям, например: «Менеджмент качества», «Управление проектами», «Стратегическое управление» и т.д. Ценность такого рода обучения по дополнительным программам состоит еще и в том, что у выпускников – будущих специалистов – вырабатывается единый управленческий язык, взаимопонимание,

культура коллегиального принятия решений. Обученные таким образом молодые специалисты в дальнейшем смогут продолжить и усовершенствовать своё образование в Корпоративном университете ОАО «РЖД».

Думается, что организованный таким образом непрерывный образовательный процесс определяет решение основной его задачи: формирование и повышение конкурентоспособности работника, как потенциальной возможности удовлетворять требованиям профессиональной и социальной мобильности в рамках компании ОАО «РЖД» и других предприятий железнодорожного транспорта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конкурентоспособность, компетентность, дополнительное образование, специалист финансово-экономического блока

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дементьев Алексей Петрович, канд. экон. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»

Аршба Людмила Николаевна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ КОМПАНИИ С ПОЗИЦИЙ СТЕПЕНИ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ

**ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей
сообщения»**

Д.Л. Седых

**ON IMPROVEMENT OF THE MANAGEMENT ORGANIZATIONAL STRUCTURE IN A TRANSPORT COMPANY FROM THE
PERSPECTIVE OF CENTRALIZATION LEVEL**

«Siberian state transport university»

D.L. Sedykh

Under realization of restructuring reform in railway industry the improvement of organizational structures is one of the most important issues aimed at efficiency growth of companies' activities.

Keywords: management organizational structure, centralization, decentralization

В условиях проведения структурной реформы железнодорожного транспорта совершенствование организационных структур управления является одной из важнейших задач, направленных на повышение эффективности функционирования компаний.

Эффективное управление, основанное на использовании прогрессивных организационных систем и структур, является едва ли не главным инструментом повышения эффективности организаций, обеспечения и сохранения их конкурентоспособности в условиях сложной и изменчивой внешней среды. Адаптация организации к изменениям внешней среды занимает важное место в системе управления организацией любой отрасли экономики, но особенно она необходима для транспортных организаций, параметры которых должны гибко следовать за изменениями требований клиентов. Несмотря на определенное внимание ученых к развитию менеджмента в транспортной сфере, наблюдается недостаток разработок, посвященных проблемам гибкости, адаптивности транспортных систем в современных экономических условиях. Данное обстоятельство еще в большей степени привлекает внимание исследователей к вопросу организационного структурирования транспортных систем.

Открытое акционерное общество «Первая грузовая компания» (ОАО «ПГК») создано в июле 2007 года в результате реформирования ОАО «Российские железные дороги». В настоящее время ОАО «ПГК» является крупнейшим железнодорожным оператором грузов в России, на территории страны функционирует 14 филиалов компании, в том числе Новосибирский филиал, осуществляющий свою деятельность на сети Западно-Сибирской железной дороги.

Учитывая, что для достижения поставленных перед ОАО «ПГК» целей, Компания должна отвечать требованиям современного рынка железнодорожных транспортных услуг, при формировании организационной структуры ОАО «ПГК» был использован имеющийся опыт организационного построения отечественных и зарубежных транспортных компаний – операторов железнодорожного подвижного состава и ОАО «РЖД». Было разработано Положение об организационной структуре ОАО «Первая грузовая компания», согласно которого в компании и ее филиалах действует линейно-функциональная структура управления. Организационная структура управления Новосибирским филиалом ОАО «ПГК», определенная

Положением, представлена на рисунке.

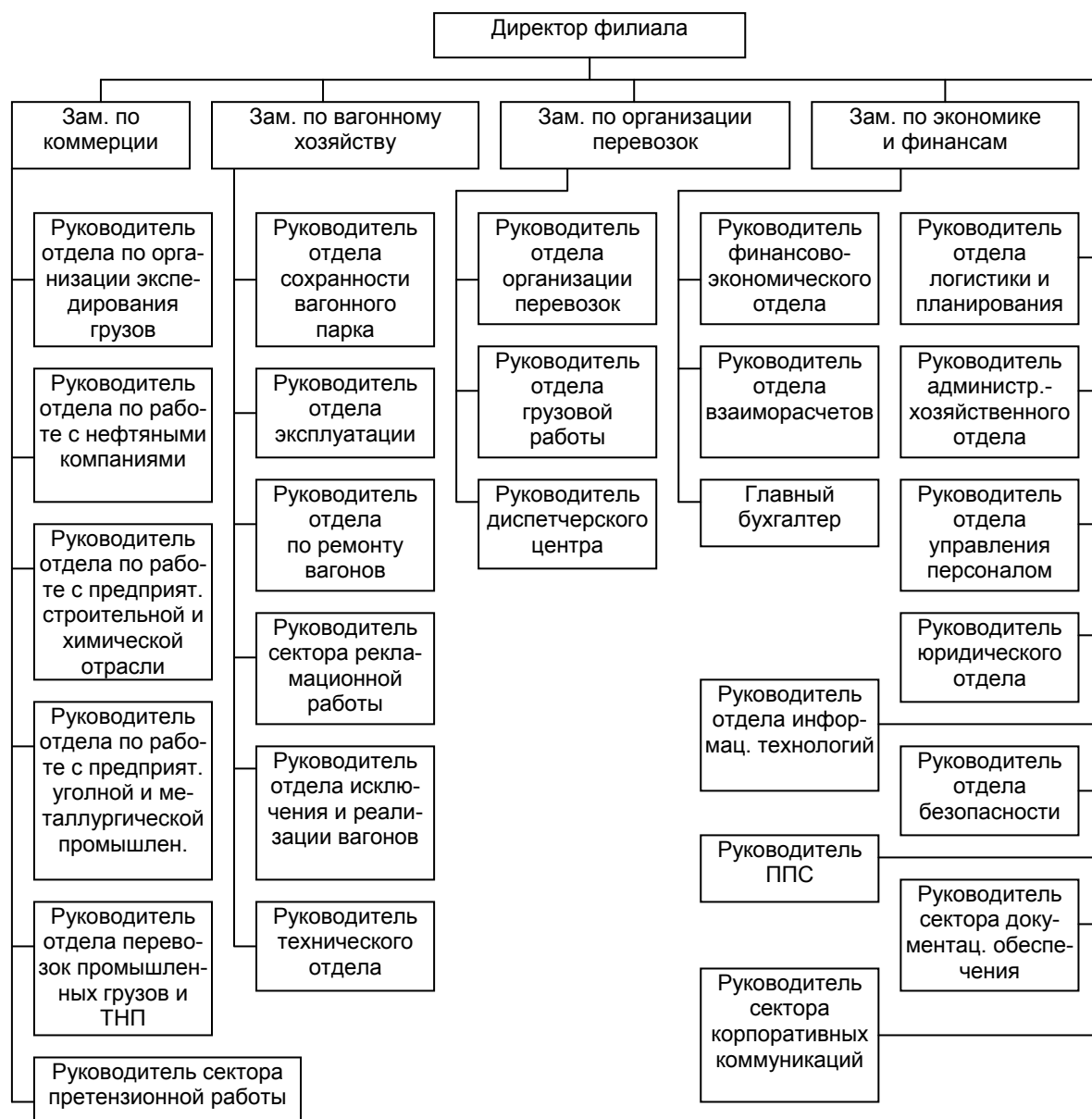


Рисунок – Организационная структура управления филиалом ОАО «ПГК»

Анализ действующей структуры управления Новосибирским филиалом ОАО «ПГК», сопоставление фактического разграничения функций между структурными подразделениями данной организации и классификатора значений «функциональная область», определенного распоряжением от 08.12.2008 г. №2621р, позволил выявить некоторые потенциальные проблемы существующей структуры:

– Секторы претензионной и рекламационной работы объединяют функции в рамках функциональной области "Правовая работа" и в то же время входят в состав разных функциональных блоков – производственного и технического. Поэтому более логично указанные секторы рассматривать не как самостоятельные структурные подразделения, а в структуре юридического отдела, входящего в структуру обеспечивающего блока.

– Взаиморасчеты, как функциональная область, должны относиться к группе функций по управлению финансовыми ресурсами. Поэтому отдел взаиморасчетов целесообразнее позиционировать не как самостоятельное структурное подразделение, а в составе сектора в структуре финансово-экономического отдела.

Кроме того, среди недостатков структур линейно-функционального типа можно назвать отсутствие достаточной гибкости при возникновении новых задач, что в современных условиях, при динамично развивающейся внешней среде, становится особенно актуальным.

Проведенный анализ позволяет с уверенностью сказать, что для эффективного функцио-

нирования линейно-функциональной структуры управления Новосибирского филиала ОАО «ПГК» необходимо обеспечить:

- четкую регламентацию полномочий и ответственности руководителей всех уровней и подразделений;
- соблюдение норм управляемости-подчиненности, особенно у директора филиала и его заместителей;
- определение статуса функциональных подразделений и порядка их взаимоотношений с линейными руководителями;
- «органичность» существующей структуры управления за счет вертикальной и горизонтальной децентрализации.

Общепризнано, что рациональное сочетание централизации и децентрализации в управлении – один из основополагающих принципов организационного проектирования, поскольку эффективность структуры управления определяется не только структурой самой по себе, но и тем организационным механизмом, который реализуется в рамках этой структуры. При этом централизация – мощнейшее средство координации процесса принятия решений в организации. Тем не менее, децентрализация имеет определенные преимущества:

1 Чем больше организация, тем с более сложными решениями приходится сталкиваться ее руководителю в условиях централизации. В связи с изменениями поведения конкурентов, потребностей клиентов, поступлением рекламаций на товар или услугу со стороны потребителей возникает необходимость принимать оперативные решения. В случае, когда скорость принятия решения критическая, децентрализация просто необходима.

2 Поскольку проблемы функционирования организации, как правило, зарождаются на низших уровнях иерархии, децентрализация позволяет более оперативно реагировать на проблемы и не менее эффективно их решать.

3 Децентрализация обеспечивает мотивацию сотрудников и создание кадрового потенциала руководителей организации. Наделение властью управленцев среднего звена, аналитиков позволяет им учиться принимать решения и нести за них ответственность с целью перехода в последствии на руководящую должность.

В качестве оценки степени централизации/децентрализации используются информационные оценки степени целостности α и использования элементов системы β [1], которые могут интерпретироваться как оценки устойчивости структуры управления при предоставлении свободы структурным подразделением:

$$\alpha = -C_B/C_O; \quad \beta = C_C/C_O,$$

где C_B – взаимная сложность системы, характеризующая степень взаимосвязи элементов в системе (сложность ее устройства, схемы, структуры);

C_C – системная сложность, характеризующая содержание системы как целого;

C_O – собственная сложность системы, представляющая собой суммарную сложность элементов системы вне связи их между собой.

Взаимная, системная и собственная сложность системы связаны между собой соотношением

$$C_B = C_C - C_O.$$

Для расчета системной и собственной сложностей системы может быть использован логарифм:

$$C_C = N \cdot \log_2 K; \quad C_O = \sum_{i=1}^m \log_2 k_i,$$

где N – количество элементов 0-го уровня;

K – количество элементов нижнего уровня;

m – количество элементов системы, имеющих связь с элементами нижележащего уровня управления;

k_i – количество связей i -го элемента с элементами нижележащего уровня.

Для устойчивых систем характерно, что собственная сложность выше системной, поэтому показатель взаимной сложности формально имеет отрицательный знак.

Результаты оценки степени целостности и степени использования элементов системы для действующей организационной структуры управления филиала ОАО «ПГК» и предлагаемой структуры, с учетом ликвидации выявленных нерациональностей, приведены в таблице.

Таблица – Расчет сопряженных оценок вариантов структуры управления

Показатель	Исходная ОСУ	Предлагаемая ОСУ
Количество элементов 0-го уровня иерархии	1	1
Количество элементов нижнего уровня иерархии	27	25
Количество элементов структуры, имеющих связь с элементами нижележащего уровня иерархии	5	5
Количество связей i -го элемента структуры с элементами нижележащего уровня иерархии	$K_1 = 13$ $K_2 = 6$ $K_3 = 6$ $K_4 = 3$ $K_5 = 3$	$K_1 = 13$ $K_2 = 5$ $K_3 = 5$ $K_4 = 3$ $K_5 = 3$
Системная сложность	4,75	4,64
Собственная сложность	12,06	11,54
Взаимная сложность	-7,31	-6,90
Оценка степени целостности системы	0,61	0,60
Оценка степени использования элементов системы	0,39	0,40

Поскольку α трактуется как степень централизации, то при стремлении к децентрализации управления, более эффективному использованию потенциала структурных подразделений предпочтительной становится предлагаемая структура управления. Отличительной особенностью данной структуры от исходной является объединение функций правовой деятельности в рамках юридического отдела без выделения секторов.

Результаты проведенных исследований используются при совершенствовании существующей организационной структуры управления Новосибирского филиала ОАО «ПГК», но также могут служить методической основой при дальнейшей трансформации управленческих структур компании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Теория систем и системный анализ в управлении организациями: справочник / под ред. В.Н. Волковой, А.А. Емельянова. -М.: Финансы и статистика, 2006.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: организационная структура управления, централизация, децентрализация
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Седых Дмитрий Леонидович, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ И УЧЕТА ЗАТРАТ НА СОДЕРЖАНИЕ И РЕМОНТ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

В.В. Галтер

INCREASE OF EFFICIENCY OF PLANNING AND THE ACCOUNT OF CHARGES AND ROLLING STOCK REPAIR
«Siberian state transport university»
V.V. Galter

In modern conditions the process method of costs accounting enables to increase the efficiency of planning, accounting and control. Process planning and costs accounting for current freight wagons uncoupling repair is considered in the article.

Keywords: process costs accounting, costs management, cost of sales, current uncoupling repair

В современных условиях попроцессный метод учета затрат позволяет повысить эффективность планирования, учета и контроля производственных расходов. Рассмотрен вопрос попроцессного планирования и учета затрат на текущий отцепочный ремонт грузовых вагонов.

Повышение экономической эффективности, финансовой устойчивости ОАО «РЖД» определены в качестве важнейших стратегических целей компании. Итоговым показателем, характеризующим внутренний эффект производственной деятельности организации, выступает сумма полученной прибыли. Поскольку прибыль определяется как разница между по-

лученными доходами и расходами предприятия, важность анализа и управления затратами с целью их оптимизации не вызывает сомнения. На железнодорожном транспорте оптимизации затрат уделяется особое внимание, поскольку доходы от железнодорожных перевозок зависят от тарифов, а тарифное регулирование проводится под постоянным контролем со стороны государственных органов. Таким образом, оптимизация затрат становится важнейшим источником повышения экономической эффективности деятельности как компании в целом, так и ее структурных подразделений.

Важным инструментом в системе управления затратами является их классификация и группировка. На железнодорожном транспорте группировка расходов регламентируется Номенклатурой доходов и расходов по видам деятельности. Планирование и учет затрат на основе Номенклатуры позволяют:

- определять потребности в основных ресурсах (трудовых, материальных и т.д.) для выполнения заданного объема работ;
- формировать полную информацию о произведенных расходах на фактически выполненный объем работ для калькулирования себестоимости перевозок, ценообразования;
- контролировать расходование основных видов ресурсов в соответствии с нормами и нормативами и своевременно предпринимать корректирующие действия.

Планирование и учет затрат на производство и калькулирование фактической себестоимости продукции в зависимости от вида продукции, ее сложности, типа и характера производства в отечественной практике ведутся на основе нормативного, попроцессного, попередельного и позаказного методов. На железнодорожном транспорте основным является попроцессный метод, что определяется следующими факторами: реализация перевозочного процесса не предполагает возникновения запасов незавершенного производства и готовой продукции, текущий учет затрат ведется в валовом исчислении, в конце отчетного периода вычисляется средняя себестоимость на единицу продукции. Действительно, каждое структурное подразделение формирует затраты за период и делит на соответствующие измерители работ, выполненных в этот отчетный период. В отделениях дорог, филиалах, в целом по сети затраты аккумулируют по структурным подразделениям, а затем, за исключением внутрипроизводственного оборота, делят на показатели объема перевозок. Таким образом, планирование и учет затрат на железнодорожном транспорте основаны на попроцессном методе по статьям Номенклатуры, большая часть которых имеет функциональную основу – данные статьи отражают затраты на выполнение определенных работ, являющихся частью производственных вспомогательных процессов. Статьи, которые не несут функциональной нагрузки – это статьи-ресурсы, отражающие затраты на возобновление основных средств, уплату налогов, арендные, лизинговые и прочие платежи.

Специфические расходы в Номенклатуре группируются по видам деятельности, отраслевым хозяйствам, укрупненным видам работ (УВР), которые представляют собой группы статей, объединенных по функциональному признаку. Так, к УВР «Ремонт подвижного состава» относятся статьи расходов, связанные с работами по техническому обслуживанию, всем видам текущего и капитального ремонта грузовых и пассажирских вагонов, контейнеров, электровозов, тепловозов, электропоездов, дизельных поездов, автомотрис, выполняемыми в депо и на заводах как для ОАО «РЖД», так и для сторонних пользователей.

Перечень статей по УВР «Ремонт подвижного состава» для вагонного хозяйства представлен в таблице 1.

Планирование и учет затрат по данным статьям производится по следующим элементам затрат: затраты на оплату труда рабочих, занятых ремонтом вагонов, отчисления на социальные нужды, материальные затраты, включая материалы и запасные части на ремонт вагонов, топливо, электроэнергию и затраты за выполненный ремонт вагонов.

По мнению некоторых ученых используемый метод не вполне отвечает требованиям пользователей внутренней отчетности железных дорог. При этом основным недостатком применяемого попроцессного метода планирования и учета затрат называют неоднозначность получаемых результатов. Действительно, планируя и учитывая расходы по перечисленным статьям в среднем на один ремонт, то есть на процесс в целом, нельзя говорить о высокой точности в расчетах. Однако, именно попроцессный метод позволяет планировать и вести учет затрат по отдельным звеньям технологического процесса. В этом случае учет затрат ведется дифференцированно по видам работ, в зависимости от применяемой техники, по структурным подразделениям. Это позволяет выявлять и изучать в процессе контроля за затратами причины отклонения от плановых норм, увязывать затраты с объемом работ,

качеством продукции и т.д. Такой подход к попроцессному методу был разработан в 80-е годы отечественными учеными – Маргулисом А.Ш., Слабинским В.Т. и др. Основной принцип применения попроцессного метода учета затрат заключается в том, что суть калькулирования состоит не просто в расчете себестоимости обезличенной единицы продукции, а в калькуляции единицы продукции, полученной в разных технологических и технических условиях. Было установлено, что планирование и анализ затрат по технологическим процессам позволяет решить несколько задач:

- планирование затрат на основе строгих расчетов, а не «от достигнутого»;
- выявление конкретных причин отклонения затрат как от показателей предыдущих периодов, так и от плановых заданий;
- более четкое определение резервов снижения себестоимости ремонтов, поскольку при попроцессном планировании и учете наглядно видны технические возможности улучшения производственного процесса;
- соизмерение затрат и результатов работ по отдельным участкам.

Таблица 1 – Статьи затрат, включенные в УВР «Ремонт подвижного состава» по вагонному хозяйству

№ статьи	Наименование статьи	Вид деятельности
6001	Текущий ремонт порожних вагонов при подготовке вагонов под погрузку (ТР-1)	Грузовые перевозки
6002	Текущий ремонт грузовых вагонов с отцепкой (ТР-2)	Грузовые перевозки
6004	Деповской ремонт грузовых вагонов	Грузовые перевозки
6008	Капитальный ремонт грузовых вагонов	Грузовые перевозки
6021	Деповской ремонт рефрижераторного подвижного состава	Грузовые перевозки
6022	Капитальный ремонт рефрижераторного подвижного состава	Грузовые перевозки
6031	Ремонт колесных пар со сменой элементов для грузовых вагонов	Грузовые перевозки
6040	Текущий ремонт порожних вагонов клиентов при подготовке под погрузку (ТР-1)	Ремонт подвижного состава
6041	Текущий ремонт грузовых вагонов клиентов с отцепкой (ТР-2)	Ремонт подвижного состава
6042	Ремонт со сменой элементов колесных пар грузовых вагонов клиентов	Ремонт подвижного состава
6044	Деповской ремонт грузовых вагонов клиентов	Ремонт подвижного состава
6045	Капитальный ремонт грузовых вагонов клиентов	Ремонт подвижного состава
6047	Деповской ремонт рефрижераторного подвижного состава клиентов	Ремонт подвижного состава
6048	Капитальный ремонт рефрижераторного подвижного состава клиентов	Ремонт подвижного состава

В условиях острой необходимости экономии ресурсов, важно активно использовать возможности попроцессного метода учета затрат. Так, на сегодняшний день по-прежнему остро стоит вопрос о формировании затрат на текущий отцепочный ремонт вагонов, особенно в собственности сторонних организаций (ст. 6041 «Текущий ремонт грузовых вагонов клиентов с отцепкой (ТР-2)» Номенклатуры). Компаний-владельцев подвижного состава волнует вопрос о прозрачности калькулирования стоимости данного вида ремонта. Использование попроцессного подхода, то есть формирование стоимости ремонта по отдельным технологическим операциям, позволяет обеспечить прозрачность и точность расчетов затрат по каждому отремонтированному вагону.

Очевидно, что планирование и учет затрат по основным типовым работам текущего отцепочного ремонта ведет к существенному повышению трудоемкости расчетов. Это говорит о необходимости использования информационно-аналитических систем. На Западно-Сибирской железной дороге сотрудниками НИЛ «Экономика транспорта» совместно со специалистами службы вагонного хозяйства разработана информационно-аналитическая система «ТОР-Финанс», позволяющая оперативно и достоверно вести учет затрат на выполненные ремонты. Учет затрат ведется по каждому отремонтированному вагону по выполненным операциям на основании разработанного справочника операций, производимых при текущем отцепочном ремонте вагонов, с данными о трудовых затратах, материалоемкости

выполняемых работ и ценах на материалы и запасные части. Справочник операций построен на основании типовых работ, регламентных работ и операций контроля технического состояния грузового вагона, приведенных в «Перечне неисправностей грузовых вагонов, подлежащих устранению в текущем отцепочном ремонте», утвержденном начальником департамента вагонного хозяйства ОАО «РЖД» от 21.02.2006 г. Для уточнения нормативной базы по учету трудовых и материальных ресурсов, согласно разработанному перечню операций, выполняемых при ремонте вагонов, был проведен анализ технологических процессов работы участков текущего отцепочного ремонта дороги и хронометражные наблюдения.

Затраты на текущий отцепочный ремонт, выполненный эксплуатационным вагонным депо Инская, по трем вагонам, принадлежащим различным компаниям-владельцам подвижного состава, сформированные в ИАС «ТОР-Финанс», приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы, затраты на текущий отцепочный ремонт одного вагона могут существенно различаться – более, чем в 2,5 раза, причем основное различие в величине затрат приходится на материалы. Без детального изучения затрат по отдельным технологическим процессам выявить причину этого не представляется возможным. Анализ затрат по отдельным операциям, на основе данных ИАС «ТОР-Финанс», позволил установить, что главной причиной столь существенных различий стала отличающаяся номенклатура выполненных работ, количество деталей, подлежащих замене, физическое состояние вагона. Так, затраты на материалы по выполненным операциям по данным ИАС «ТОР-Финанс» при текущем отцепочном ремонте указанных выше вагонов составили (таблица 3)

Таблица 2 – Затраты на текущий отцепочный ремонт одного вагона, руб.

Статья затрат	Вагон 1	Вагон 2	Вагон 3
Затраты на оплату труда основных производственных рабочих	396,01	530,93	308,08
Отчисления на социальные нужды	104,55	140,17	81,33
Материалы на ремонт	12949,56	17417,16	6474,78
Накладные расходы	582,54	781,00	453,19
Итого затрат на ремонт	14032,66	18869,26	7317,38

Таблица 3 – Затраты на материалы на текущий отцепочный ремонт, руб.

Виды работ	Вагон 1	Вагон 2	Вагон 3
Полная ревизия буксовых узлов КП с частичной заменой роликовых подшипников	4929,94	4929,94	4929,94
Обточка поверхности катания КП с одним проходом	875,78	875,78	875,78
Ремонт корпуса буксы	669,06	–	669,06
Полная ревизия буксовых узлов КП с частичной заменой роликовых подшипников	4929,94	4929,94	–
Обточка поверхности катания КП с одним проходом	875,78	875,78	–
Ремонт корпуса буксы	669,06	–	–
Полная ревизия буксовых узлов КП с частичной заменой роликовых подшипников	–	4929,94	–
Обточка поверхности катания КП с одним проходом	–	875,78	–
Итого затрат на материалы	12949,56	17417,16	6474,78

Очевидно, что сумма затрат по каждому виду выполняемых работ постоянна. Отклонение в стоимости затрат на материалы происходит за счет повторяемости операций на разных вагонах: на вагоне 1 была проведена замена двух колесных пар в одной тележке, на вагоне 2 – замена трех колесных пар, на вагоне 1 – замена одной колесной пары. Кроме того, в процессе ремонта вагона 2 не проводился ремонт корпуса буксы. Детальный анализ затрат на основе попроцессного подхода позволил выявить конкретные причины отклонений в стоимости ремонтов для различных вагонов, продемонстрировал прозрачность формирования себестоимости, и, соответственно, предъявляемой цены за выполненные работы.

Таким образом, попроцессное планирование и учет позволяют существенно повысить эффективность управления затратами на уровне отдельных структурных подразделений ОАО «РЖД» и, как следствие, эффективность производственно-экономической деятельности компании в целом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: попроцессный метод учета затрат, управление затратами, себестоимость, текущий отцепочный ремонт

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Галтер Валерия Валерьевна, преподаватель ГОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

РОССИЙСКАЯ ПРАКТИКА ЛИЗИНГА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.О. Самбур

THE RUSSIAN PRACTICE OF LEASING

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.O. Sambur

In this article are presented shared problems of leasing in Russia and also ways of their decision are offered.

Keywords: the balance, the discounted financial stream, leasing, relevant financial stream

Рассмотрены общие проблемы, стоящие перед лизингом в России, и предлагаются пути их решения.

Расчеты по обоснованию эффективности применения лизинга при обновлении речного флота представленные в [9], основывались на общих принципах лизинга, принятых в развитых странах. В российских условиях организация лизинга существенно отличается от других стран, как общей специфической экономической ситуацией, так и особенностями законодательства. В качестве лизинговых компаний в России зачастую выступают обычные посредники, не имеющие достаточных финансовых средств и приобретающие лизинговое имущество с использованием долгосрочных кредитов, все возмещение по которым включается в состав лизинговых платежей. Большинство же коммерческих фирм, не имея свободного доступа к долгосрочным кредитным ресурсам, вынуждены платить за них повышенные проценты.

Отношения лизинга в России регулируются в основном специальным федеральным законом №164-ФЗ «О финансовой аренде (лизинге)» и Налоговым кодексом Российской Федерации.

При заключении лизингового договора по договоренности между лизингодателем и лизингополучателем могут быть предусмотрены различные варианты формирования лизинговых платежей, размер которых зависит от следующего:

1) учет имущества может быть осуществлен на балансе любой из сторон; от этого зависит, кто будет являться плательщиком налога на имущество [6]. При этом до момента выплаты лизингополучателем всех предусмотренных договором платежей фактическим собственником имущества будет оставаться лизинговая компания;

2) в состав лизинговых платежей могут быть включены расходы по транспортировке, страхованию, техническому обслуживанию и тому подобное либо они могут быть возложены по договору на лизингополучателя.

При обосновании эффективности применения лизинга в российских условиях необходимо принимать во внимание следующие факторы:

а) применение специального повышающего коэффициента ускоренной амортизации до 3 для 4-10 амортизационных групп [4, 8], что позволяет лизингополучателю значительно экономить на общей уплате налога на имущество, включенного в состав лизингового платежа;

б) отнесение лизинговых платежей в полном объеме на себестоимость позволяет получить налоговую экономию по налогу на прибыль [5];

в) сумма налога на добавленную стоимость, уплаченная в составе лизинговых платежей, может быть принята к зачету в полном объеме.

Эффективность лизинга в России существенно зависит от этих особенностей и прочих конкретных условий сделки, поэтому финансовой службе судоходной компании предварительно необходимо выполнить специальные расчеты по целесообразности выбора той или иной схемы финансирования затрат на обновление основных средств.

Следует отметить, что лизинг в первую очередь является инструментом ускоренного обновления основных средств, поэтому расчеты структурируются таким образом, чтобы повышенная сумма лизинговых платежей в сравнении с прочими вариантами финансирования (собственные, кредитные ресурсы), в полном объеме относимая на себестоимость, позволяла экономить значительные средства по налогу на прибыль. Это, своего рода предоставленный государством инвестиционный стимул для лизингополучателей, позволяющий в кратчайшие сроки обновить основные средства предприятия, приняв тем самым участие в

модернизации всей экономики. Наибольший «налоговый» эффект наблюдается именно в первые годы действия договора лизинга, когда разницы лизинговых платежей, снижающие налогооблагаемую базу по налогу на прибыль, максимальны.

Обоснование эффективности лизинга целесообразно производить потоковым методом на основе сравнения релевантных денежных потоков предстоящей лизинговой сделки с альтернативными сопоставимыми платежами лизингополучателя при его ориентации на приобретение предмета лизинга:

- за счет собственного капитала;
- за счет долгосрочного кредита или путем различного возможного сочетания этих источников.

При этом необходимо учитывать принцип неравноценности денежных средств во времени.

В качестве примера эффективности лизинга по приобретению судна приведем конкретный расчет по исходным данным таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета эффективности лизинга

Исходные данные	Значение
Первоначальная (инвестиционная) стоимость судна, (без НДС), тыс. руб.	30000
Амортизационный период (согласно НК РФ от 15 до 20 лет)*, мес.	183
Амортизационный период при лизинге с применением специального коэффициента ускоренной амортизации равного 3, мес.	61
Налоговые ставки	
– налог на имущество, %	2,2
– налог на прибыль, %	20,0
– налог на добавленную стоимость (НДС), %	18,0
Коммиссионное вознаграждение лизингодателя (ежегодно от инвестиционной стоимости имущества), %	2,5
Ставка за кредит (привлекаемый лизинговой компанией), %	12,0
Страхование судна (% от остаточной стоимости судна на начало каждого периода), %	2,0
Ставка за кредит (привлекаемый судоходной компанией), %	14,0
Норма дисконта, %	14,2

*-количество месяцев выбирается балансодержателем имущества самостоятельно в пределах амортизационной группы.

Предмет приобретения – самоходный теплоход грузоподъемностью 700 т, мощность главной силовой установки 880 кВт.

Исходные данные. Условия финансирования:

– приобретение за счет собственных средств – оплата по договору купли-продажи единовременно;

– приобретение за счет кредитных средств – привлечение кредита в размере 80% от стоимости приобретения, 20% (аванс) за счет собственных средств (данное условие соответствует предъявляемым условиям ряда банков при выдаче долгосрочного кредита на целевое финансирование проекта с последующей передачей приобретаемого имущества в залог);

– приобретение по лизинговой схеме расчетов – оплата единовременно обеспечительного платежа в размере 10% (аванс/обеспечительный платеж по договору лизинга) от стоимости приобретения (данное условие соответствует требованиям, предъявляемым лизинговыми компаниями к финансированию лизинговых сделок).

Сумма налога на добавленную стоимость, уплаченная поставщикам/исполнителям, принимается к зачету в тех периодах, в которых прошло начисление расходов согласно бухгалтерскому учету [3]. Учитывая это, расходы в расчетах берутся без учета сумм данного налога в соответствующем периоде.

Расходы по текущему содержанию, ремонту судна и прочие платежи по условиям договора лизинга возложены на судоходную компанию.

Амортизация имущества (судна) исчисляется линейным методом. При применении повышающего коэффициента амортизации, равного 3, списание амортизации на расходы компанией-балансодержателем происходит в 3-х кратном размере, что позволяет в более короткие сроки полностью самортизировать имущество.

Норма дисконта [discount rate] – ставка дисконта, показатель, используемый для приведения разновременных величин затрат, эффектов и результатов к начальному периоду расчета (базовому году). В практике норма дисконта определяется обычно двумя методами:

а) как средневзвешенная цена доступного капитала;

б) кумулятивно, то есть путем суммирования безрисковой ставки с величиной премии за риск.

При этом общая премия за несистематические (случайные) риски в развитых странах учитывается в пределах до 5/6 от номинальной безрисковой ставки [1]. Если для России в качестве безрисковой ставки принять ставку рефинансирования Центрального Банка, то норма дисконта составит около 14,2% ($7,75(1+5/6)=14,2$).

Согласно Классификатору основных средств [2], суда сухогрузные самоходные речные и озерные грузоподъемностью до 700 т отнесены к 7 амортизационной группе (имущество со сроком полезного использования свыше 15 лет до 20 лет включительно).

Из представленных в таблицах 2-4 сравнительных расчетов видно, что хотя номинальный денежный поток по варианту финансирования за счет собственных средств меньше, чем при долгосрочном кредите или лизинге, тем не менее общий экономический эффект более заметен при применении долгосрочного кредита и лизинге с коэффициентом ускоренной амортизации 3. В рассматриваемом примере целесообразнее и экономически выгоднее профинансировать затраты на приобретение имущества посредством использования долгосрочного кредитования, как наименее затратного варианта при сравнении общего дисконтированного потока денежных средств.

Таблица 2 – Сравнительный расчет

Год	Возмещение основного долга по кредиту лизингодателя, тыс.руб.	Внесение (+) / зачет (-) аванса по договору лизинга, тыс.руб.	Уплата процентов по кредиту лизинговой компании, тыс.руб.	Комиссия лизинговой компании, тыс.руб.	Амортизация, тыс.руб.	Налог на имущество, тыс.руб.	Транспортный налог (20 руб./л.с.), тыс.руб.	Страхование судна, тыс.руб.	Сумма лизинговых платежей по начислению (без НДС), тыс.руб.	Поток лизинговых платежей - по факту уплаты (без НДС), тыс.руб.	Релевантный денежный поток		
											Номинальный поток, тыс.руб.	Коэффициент дисконтирования×10 ²	Общий дисконтированный поток, тыс.руб.
Общий поток лизинговых платежей (с применением коэффициента ускоренной амортизации равного 3)													
0	–	3000	–	–	–	–	–	–	–	3000,00	3000,00	100	3000,00
1	6963,93	–	3830,16	885	5901,64	595,08	23,93	600,00	11835,8	11835,81	11835,81	87,57	10364,11
2	6963,93	–	2994,49	885	5901,64	465,25	23,93	560,66	10831,0	10830,96	10830,96	76,68	8304,91
3	6963,93	–	2158,82	885	5901,64	335,41	23,93	521,31	9826,11	9826,11	9826,11	67,14	6597,56
4	6963,93	–	1323,15	885	5901,64	205,57	23,93	481,97	8821,26	8821,26	8821,26	58,79	5186,40
5	6963,93	-2769,23	487,48	885	5901,64	75,74	23,93	442,62	7816,40	5047,17	5047,17	51,48	2598,47
6*	580,33	-230,77	34,82	73,75	491,80	0,83	1,99	33,61	636,81	406,04	406,04	45,08	183,05
Выкуп имущества лизингополучателем, переход права собственности и постановка имущества на баланс судовой компании													
6**	–	–	–	–	–	–	21,94	369,67	–	–	391,61	45,08	176,54
7	–	–	–	–	–	–	23,93	363,93	–	–	387,86	39,48	153,11
8	–	–	–	–	–	–	23,93	324,59	–	–	348,52	34,57	120,48
9	–	–	–	–	–	–	23,93	285,25	–	–	309,18	30,27	93,59
10	–	–	–	–	–	–	23,93	245,90	–	–	269,83	26,51	71,52
11	–	–	–	–	–	–	23,93	206,56	–	–	230,49	23,21	53,50
12	–	–	–	–	–	–	23,93	167,21	–	–	191,14	20,32	38,85
13	–	–	–	–	–	–	23,93	127,87	–	–	151,80	17,80	27,02
14	–	–	–	–	–	–	23,93	88,52	–	–	112,45	15,58	17,52
15	–	–	–	–	–	–	23,93	49,18	–	–	73,11	13,65	9,98
16	–	–	–	–	–	–	5,98	9,84	–	–	15,82	11,95	1,89
***	35400,0	0,0	10828,9	4498,8	30000,0	1677,9	364,9	4878,7	49767,4	49767,4	52249,2	–	36998,5

*-январь; **-февраль-декабрь; ***-Итого

В нашем примере при применении лизинга с коэффициентом ускоренной амортизации равным 3 судовой компании за период действия договора лизинга удастся сэкономить на уплате:

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

– налога на имущество в размере 3 354,93 тыс. руб.
 – налога на прибыль в целом по компании в размере 2 394,55 тыс. руб. (в сравнении с вариантом использования собственных средств) и 373,15 тыс. руб. (в сравнении с вариантом использования долгосрочного кредитования).

Таблица 3 – Релевантный денежный поток при использовании собственных средств, сопоставимый с лизингом

Год	Вложение собственного капитала, тыс.руб. (без НДС)	Амортизация, тыс.руб.	Налог на имущество, тыс.руб.	Транспортный налог (20 руб./л.с.), тыс.руб.	Страхование судна, тыс.руб.	Итого релевантных текущих расходов, тыс.руб.	Экономия (+) /переплата (-) по налогу на прибыль (в сравнении с лизингом), тыс.руб.	Релевантный денежный поток		
								Номинальный поток, тыс.руб.	Коэффициент дисконтирования $\times 10^2$	Общий дисконтированный поток, тыс.руб.
0	30000,00	–	–	–	–	–	–	30000,00	100	30000,00
1	–	1967,21	638,36	23,93	600,00	3229,50	-1721,26	2983,55	87,57	2612,57
2	–	1967,21	595,08	23,93	560,66	3146,88	-1536,82	2716,48	76,68	2082,93
3	–	1967,21	551,80	23,93	521,31	3064,26	-1352,37	2449,41	67,14	1644,61
4	–	1967,21	508,52	23,93	481,97	2981,63	-1167,92	2182,35	58,79	1283,10
5	–	1967,21	465,25	23,93	442,62	2899,01	-983,48	1915,28	51,48	986,05
6	–	1967,21	421,97	23,93	403,28	2816,39	357,60	491,58	45,08	221,61
7	–	1967,21	378,69	23,93	363,93	2733,77	469,18	297,37	39,48	117,39
8	–	1967,21	335,41	23,93	324,59	2651,14	460,52	223,40	34,57	77,23
9	–	1967,21	292,13	23,93	285,25	2568,52	451,87	149,44	30,27	45,23
10	–	1967,21	248,85	23,93	245,90	2485,90	443,21	75,47	26,51	20,00
11	–	1967,21	205,57	23,93	206,56	2403,27	434,56	1,50	23,21	0,35
12	–	1967,21	162,30	23,93	167,21	2320,65	425,90	-72,46	20,32	-14,73
13	–	1967,21	119,02	23,93	127,87	2238,03	417,25	-146,43	17,80	-26,06
14	–	1967,21	75,74	23,93	88,52	2155,40	408,59	-220,40	15,58	-34,35
15	–	1967,21	32,46	23,93	49,18	2072,78	399,93	-294,37	13,65	-40,17
16	–	491,80	1,66	5,98	9,84	509,29	98,69	-81,21	11,95	-9,70
Итого	30000,0	30000,0	5032,81	364,92	4878,69	40276,42	-2394,55	42670,97	–	38966,07

Формально с учетом действующего законодательства лизинг вроде бы дает некоторые преимущества, в основном за счет налоговой экономии, особенно при использовании повышающего коэффициента амортизации. Но его применение приводит к дополнительному увеличению текущих расходов в течение первых пяти лет примерно на 6,7 млн. руб. в каждом году в расчете на одно судно.

Если учесть, что средняя провозная способность рассматриваемого судна при использовании в условиях Сибири составляет примерно 12,6 млн. ткм за навигацию, то применение лизинга с применением повышенного коэффициента амортизации приведет к повышению средней себестоимости перевозок груза данным судном примерно на 0,53 руб./ткм ($6,7/12,6=0,53$). Данное повышение приведет к повышению тарифа на перевозку груза и, в конечном счете, еще больше снизит конкурентоспособность речных транспорта.

$$A_r = Q_3 T_3 P_{\text{ткм}},$$

где A_r – провозная способность судна за навигацию, ткм;

Q_3 – грузоподъемность судна, т;

T_3 – период эксплуатации судна в год, сут.;

$P_{\text{ткм}}$ – валовая производительность флота, ткм/тж-сутки.

$$A_r = 700 \cdot 150 \cdot 120 = 12,6 \text{ млн. ткм за навигацию.}$$

Применение лизинга, безусловно, может быть экономически выгодным и обоснованным для ряда отраслей с низкой фондоемкостью производства, а также для высокорентабельных предприятий. Использование же лизинга в России с учетом всех предоставленных действующим законодательством преимуществ не способно решить вопрос по обновлению устаревшего речного флота.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Таблица 4 – Релевантный денежный поток при долгосрочном кредите, сопоставимый с лизингом

Год	Возврат кредита, тыс.руб.	Оплата по договору купли-продажи за счет собственных средств (учитывая зачет НДС), тыс.руб.	Начисление и уплата процентов по кредиту, тыс.руб.	Амортизация, тыс.руб.	Налог на имущество, тыс.руб.	Транспортный налог (20 руб./л.с.), тыс.руб.	Страхование судна, тыс.руб.	Итого релевантных текущих расходов, тыс.руб.	Экономия (+) /переплата (-) по налогу на прибыль (в сравнении с лизингом), тыс.руб.	Релевантный денежный поток		
										Номинальный поток, тыс.руб.	Коэффициент дисконтирования $\times 10^2$	Общий дисконтированный поток, тыс.руб.
0	-	1680,00	-	-	-	-	-	-	-	1680,00	100	1680,00
1	5571,15	-	3574,82	1967,21	638,36	23,93	600,00	6804,3	-1006,30	11414,56	87,57	9995,23
2	5571,15	-	2794,86	1967,21	595,08	23,93	560,66	5941,7	-977,84	10523,52	76,68	8069,17
3	5571,15	-	2014,90	1967,21	551,80	23,93	521,31	5079,2	-949,39	9632,48	67,14	6467,55
4	5571,15	-	1234,94	1967,21	508,52	23,93	481,97	4216,6	-920,94	8741,44	58,79	5139,47
5	5571,15	-	454,98	1967,21	465,25	23,93	442,62	3354,0	-892,48	7850,41	51,48	4041,68
6	464,26	-	32,50	1967,21	421,97	23,93	403,28	2848,9	364,09	981,84	45,08	442,63
7	-	-	-	1967,21	378,69	23,93	363,93	2733,8	469,18	297,37	39,48	117,39
8	-	-	-	1967,21	335,41	23,93	324,59	2651,1	460,52	223,40	34,57	77,23
9	-	-	-	1967,21	292,13	23,93	285,25	2568,5	451,87	149,44	30,27	45,23
10	-	-	-	1967,21	248,85	23,93	245,90	2485,9	443,21	75,47	26,51	20,00
11	-	-	-	1967,21	205,57	23,93	206,56	2403,3	434,56	1,50	23,21	0,35
12	-	-	-	1967,21	162,30	23,93	167,21	2320,7	425,90	-72,46	20,32	-14,73
13	-	-	-	1967,21	119,02	23,93	127,87	2238,0	417,25	-146,43	17,80	-26,06
14	-	-	-	1967,21	75,74	23,93	88,52	2155,4	408,59	-220,40	15,58	-34,35
15	-	-	-	1967,21	32,46	23,93	49,18	2072,8	399,93	-294,37	13,65	-40,17
16	-	-	-	491,80	1,66	5,98	9,84	509,3	98,69	-81,21	11,95	-9,70
Итого	28320,0	1680,0	10106,99	30000,0	5032,81	364,92	4878,7	50383,4	-373,15	50 756,6	-	35 970,93

В целях сохранения уровня себестоимости грузоперевозок речного флота, рассмотрим также пример использования лизинга без применения повышающего коэффициента амортизации (таблица 5).

Таблица 5 – Общий поток лизинговых платежей (без применения коэффициента ускоренной амортизации)

Год	Возмещение основного долга по кредиту лизингодателя, тыс.руб.	Внесение аванса по договору лизинга (+) / зачет аванса по договору лизинга (-), тыс.руб.	Уплата процентов по кредиту лизинговой компании, тыс.руб.	Комиссия лизинговой компании, тыс.руб.	Амортизация, тыс.руб.	Налог на имущество, тыс.руб.	Транспортный налог (20 руб./л.с.), тыс.руб.	Страхование судна, тыс.руб.	Сумма лизинговых платежей по начислению (без НДС), тыс.руб.	Релевантный денежный поток		
										Номинальный поток, тыс.руб.	Коэффициент дисконтирования $\times 10^2$	Общий дисконтированный поток, тыс.руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	-	3000	-	-	-	-	-	-	-	3000,00	100	3000,00
1	2321,31	-	4108,72	299,92	1967,21	638,36	23,93	600,00	7638,14	7638,14	87,7	6688,39
2	2321,31	-	3830,16	299,92	1967,21	595,08	23,93	560,66	7276,96	7276,96	76,68	5579,79
3	2321,31	-	3551,61	299,92	1967,21	551,80	23,93	521,31	6915,78	6915,78	67,14	4643,47
4	2321,31	-	3273,05	299,92	1967,21	508,52	23,93	481,97	6554,60	6554,60	58,79	3853,73
5	2321,31	-	2994,49	299,92	1967,21	465,25	23,93	442,62	6193,42	6193,42	51,48	3188,60
6	2321,31	-	2715,93	299,92	1967,21	421,97	23,93	403,28	5832,24	5832,24	45,08	2629,29
7	2321,31	-	2437,38	299,92	1967,21	378,69	23,93	363,93	5471,06	5471,06	39,48	2159,78
8	2321,31	-	2158,82	299,92	1967,21	335,41	23,93	324,59	5109,88	5109,88	34,57	1766,37
9	2321,31	-	1880,26	299,92	1967,21	292,13	23,93	285,25	4748,70	4748,70	30,27	1437,41
10	2321,31	-	1601,70	299,92	1967,21	248,85	23,93	245,90	4387,52	4387,52	26,51	1162,94
11	2321,31	-	1323,15	299,92	1967,21	205,57	23,93	206,56	4026,34	4026,34	23,21	934,51
12	2321,31	-	1044,59	299,92	1967,21	162,30	23,93	167,21	3665,16	3665,16	20,32	744,90

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
13	2321,31	–	766,03	299,92	1967,21	119,02	23,93	127,87	3303,98	3303,98	17,80	588,00
14	2321,31	-1333,33	487,48	299,92	1967,21	75,74	23,93	88,52	2942,80	1609,46	15,58	250,82
15	2321,31	-1333,33	208,92	299,92	1967,21	32,46	23,93	49,18	2581,62	1248,28	13,65	170,34
16	580,33	-333,33	8,70	–	491,80	1,66	5,98	9,84	517,99	184,66	11,95	22,07
Итого	35400,0	0,00	32391,0	4498,75	30000,0	5032,8	364,92	4878,7	77166,17	77166,17	–	38820,41

Из представленных в таблицах 5-7 расчетов видно, что использование лизинга без применения коэффициента ускоренной амортизации в сравнении с прочими возможными вариантами финансирования затрат по приобретению судна также не дает экономического преимущества по сравнению с долгосрочным кредитованием.

Таблица 6 – Релевантный денежный поток при использовании собственных средств, сопоставимый с лизингом

Год	Вложение собственного капитала, тыс.руб. (без НДС)	Амортизация, тыс.руб.	Налог на имущество, тыс.руб.	Транспортный налог (20 руб./л.с.), тыс.руб.	Страхование судна, тыс.руб.	Итого релевантных текущих расходов, тыс.руб.	Экономия (+) /переплата (-) по налогу на прибыль (в сравнении с лизингом), тыс. руб.	Релевантный денежный поток		
								Номинальный поток, тыс.руб.	Коэффициент дисконтирования×10 ²	Общий дисконтированный поток, тыс.руб.
0	30 000,0	–	–	–	–	–	–	30000,0	100	30000,00
1	–	1967,21	638,36	23,93	600,00	3229,50	-881,73	2144,02	87,57	1877,42
2	–	1967,21	595,08	23,93	560,66	3146,88	-826,02	2005,68	76,68	1537,91
3	–	1967,21	551,80	23,93	521,31	3064,26	-770,30	1867,35	67,14	1253,80
4	–	1967,21	508,52	23,93	481,97	2981,63	-714,59	1729,01	58,79	1016,56
5	–	1967,21	465,25	23,93	442,62	2899,01	-658,88	1590,68	51,48	818,94
6	–	1967,21	421,97	23,93	403,28	2816,39	-603,17	1452,35	45,08	654,75
7	–	1967,21	378,69	23,93	363,93	2733,77	-547,46	1314,01	39,48	518,72
8	–	1967,21	335,41	23,93	324,59	2651,14	-491,75	1175,68	34,57	406,41
9	–	1967,21	292,13	23,93	285,25	2568,52	-436,04	1037,34	30,27	314,00
10	–	1967,21	248,85	23,93	245,90	2485,90	-380,32	899,01	26,51	238,29
11	–	1967,21	205,57	23,93	206,56	2403,27	-324,61	760,67	23,21	176,55
12	–	1967,21	162,30	23,93	167,21	2320,65	-268,90	622,34	20,32	126,48
13	–	1967,21	119,02	23,93	127,87	2238,03	-213,19	484,00	17,80	86,14
14	–	1967,21	75,74	23,93	88,52	2155,40	-157,48	345,67	15,58	53,87
15	–	1967,21	32,46	23,93	49,18	2072,78	-101,77	207,34	13,65	28,29
16	–	491,80	1,66	5,98	9,84	509,29	-1,74	19,22	11,95	2,30
Итого	30000,0	30000,00	5032,81	364,92	4878,69	40276,42	-7377,95	47654,37	–	39110,42

Учитывая приведенные выше примеры, автор приходит к выводу, что обновление речного флота на основе лизинга возможно только при использовании в качестве лизингодателя не компании-посредника, а полноценной лизинговой компании, финансирующей проекты в основной массе за счет собственных средств. Большинство же российских лизинговых компаний, к сожалению, не соответствуют данному критерию финансовой самостоятельности, а существующие стремятся вложить имеющиеся средства в проекты более выгодные и с меньшим сроком окупаемости.

Одним из наиболее перспективных способов восстановления российского речного флота видится в создании специальной отраслевой лизинговой компании на началах государственно-частного партнерства. Основными приоритетами, поставленными на данную лизинговую компанию, должны являться:

- решение вопроса по формированию источников долгосрочного финансирования лизинговых проектов;
- предоставление минимально возможных конкурентоспособных ставок за лизинговые услуги;
- ориентация в основном не на получение прибыли от лизинговой деятельности, а на

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

самоокупаемость и обеспечение стабильного дохода инвесторам/акционерам компании на вложенный капитал.

Таблица 7 – Релевантный денежный поток при долгосрочном кредите, сопоставимый с лизингом

Год	Возврат кредита, тыс.руб.	Оплата по договору купли-продажи за счет собственных средств (учитывая зачет НДС), тыс.руб.	Начисление и уплата процентов по кредиту, тыс.руб.	Амортизация, тыс.руб.	Налог на имущество, тыс.руб.	Транспортный налог (20 руб./л.с.), тыс.руб.	Страхование судна, тыс.руб.	Итого релевантных текущих расходов, тыс.руб.	Экономия (+) /переплата (-) по налогу на прибыль (в сравнении с лизингом), тыс.руб.	Релевантный денежный поток		
										Номинальный поток, тыс.руб.	Коэффициент дисконтирования×10 ²	Общий дисконтированный поток, тыс.руб.
0	–	1680,00	–	–	–	–	–	–	–	1680,00	100	1680,00
1	1857,05	–	3834,81	1967,21	638,36	23,93	600,00	7064,31	-114,77	7068,91	87,57	6189,94
2	1857,05	–	3574,82	1967,21	595,08	23,93	560,66	6721,70	-111,05	6722,59	76,68	5154,71
3	1857,05	–	3314,83	1967,21	551,80	23,93	521,31	6379,09	-107,34	6376,26	67,14	4281,22
4	1857,05	–	3054,85	1967,21	508,52	23,93	481,97	6036,48	-103,62	6029,94	58,79	3545,26
5	1857,05	–	2794,86	1967,21	465,25	23,93	442,62	5693,87	-99,91	5683,62	51,48	2926,13
6	1857,05	–	2534,87	1967,21	421,97	23,93	403,28	5351,26	-96,20	5337,29	45,08	2406,16
7	1857,05	–	2274,89	1967,21	378,69	23,93	363,93	5008,65	-92,48	4990,97	39,48	1970,25
8	1857,05	–	2014,90	1967,21	335,41	23,93	324,59	4666,04	-88,77	4644,64	34,57	1605,55
9	1857,05	–	1754,91	1967,21	292,13	23,93	285,25	4323,43	-85,05	4298,32	30,27	1301,08
10	1857,05	–	1494,92	1967,21	248,85	23,93	245,90	3980,82	-81,34	3952,00	26,51	1047,50
11	1857,05	–	1234,94	1967,21	205,57	23,93	206,56	3638,21	-77,63	3605,67	23,21	836,87
12	1857,05	–	974,95	1967,21	162,30	23,93	167,21	3295,60	-73,91	3259,35	20,32	662,43
13	1857,05	–	714,96	1967,21	119,02	23,93	127,87	2952,99	-70,20	2913,02	17,80	518,42
14	1857,05	–	454,98	1967,21	75,74	23,93	88,52	2610,38	-66,48	2566,70	15,58	399,99
15	1857,05	–	194,99	1967,21	32,46	23,93	49,18	2267,77	-62,77	2220,38	13,65	302,99
16	464,26	–	8,12	491,80	1,66	5,98	9,84	517,41	-0,12	489,99	11,95	58,55
Итого	28320,00	1680,00	30231,60	30000,0	5032,81	364,92	4878,7	70508,02	-1331,63	71839,65	–	34887,08

По мнению автора, только создание специализированной лизинговой компании способно коренным образом исправить ныне существующее упадочное состояние речной отрасли страны. Положительный импульс в развитии речной отрасли позволит прочим участникам российского лизингового рынка увидеть в лице судоходных компаний надежных клиентов, снижая стоимость лизинговых услуг в условиях конкуренции и предлагая более выгодные условия сотрудничества. Только при реализации вышеописанного сценария, имеется шанс в ближайшие 15-20 лет частично восстановить и заменить морально и физически устаревший речной флот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Валдайцев, С.В. Оценка бизнеса: учебник / С.В. Валдайцев. -М.: ТК Велби: Проспект, 2003. -352 с.
- 2 О классификации основных средств, включаемых амортизационные группы: постановление Правительства РФ от 01 янв. 2002 г. №1: в ред. Постановления Правительства РФ от 24 февр. 2009 г. №165.
- 3 Налоговый кодекс Российской Федерации: федер. закон от 05 авг. 2000 г. №117-ФЗ: ред. от 28.09.2010 г. Ч.2, ст.176.
- 4 Налоговый кодекс Российской Федерации: федер. закон от 05 авг. 2000 г. №117-ФЗ: ред. от 28.09.2010 г. Ч.2, п.2, ст.259.3.
- 5 Налоговый кодекс Российской Федерации: федер. закон от 05 авг. 2000 г. №117-ФЗ: ред. от 28.09.2010 г. Ч.2, пп. 4,п. 2, ст. 346.5.
- 6 Налоговый кодекс Российской Федерации: федер. закон от 05 авг. 2000 г. №117-ФЗ: ред. от 28.09.2010 г. Ч.2., ст.374.
- 7 О финансовой аренде (лизинге): федер. закон от 29 окт. 1998 г. №164-ФЗ: ред. от 26 июля 2006 г., ст.12.

8 О финансовой аренде (лизинге): федер. закон от 29 окт. 1998 г. №164-ФЗ: ред. от 26 июля 2006 г., ст.31.

9 Самбур, А.О. Эффективность лизинга в совершенствовании материально-технической базы предприятий речного транспорта / А.О. Самбур // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№2. –С. 75-79.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: баланс, дисконтированный денежный поток, лизинг, релевантный денежный поток

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Самбур Александр Олегович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАСУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАСУ»

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СПРОСА НА ГРУЗОВЫЕ ПЕРЕВОЗКИ

ГОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»

О.Ю. Смирнова

DECISION-MAKING IN THE CONDITIONS OF DEMAND UNCERTAINTY FOR FREIGHT TRANSPORTATION

«Tyumen state oil and gas university»

O.Yu. Smirnova

In article the index of efficiency of freight carrier functioning in market conditions is offered. The scheme of efficiency formation of freight motor transport system in the conditions of the market is developed. The structural model of a stage-by-stage choice of the rational project of freight motor transport system is offered. The applied program of support system of decision-making «Effective organisation of transportations» that represents support system of decision-making in the conditions of uncertainty is developed.

Keywords: freight automobile transportations, adaptability, demand uncertainty for freight transportation

Предложен показатель эффективности функционирования грузового перевозчика в рыночных условиях. Разработана схема формирования эффективности грузовой автотранспортной системы в условиях рынка. Предложена структурная модель поэтапного выбора рационального проекта грузовой автотранспортной системы. Разработана прикладная программа системы поддержки принятия решения «Эффективная организация перевозок», что представляет собой систему поддержки принятия решения в условиях неопределенности.

Эффективность любой деятельности принято выражать с помощью отношения результата к затратам, обуславливающим этот результат. Вместе с тем считается, что эффективность – качественная категория, которая характеризуется результативностью, интенсивностью функционирования системы, степенью достижения цели и уровнем организованности системы. Это свидетельствует о многогранности категории эффективности с одной стороны, и с другой – сложности ее представления с помощью показателей и измерителей. В рыночных условиях хозяйствования организация перевозок грузов неразрывно связана с показателями в стоимостной форме. Процесс формирования провозных возможностей идет с условиями расчета затрат, тарифы на перевозку груза рассчитываются исходя из себестоимости перевозки и сложившихся цен на рынке. Непосредственно перевозка груза в случае имеющихся отклонений от согласованного технологического порядка (сверхнормативный простой грузовика, переадресовка груза, просрочка в доставке груза и другие) напрямую связана с расчетом и согласованием дополнительных платежей. Эффективное функционирование на рынке транспортных услуг в условиях жесткой конкуренции возможно лишь в случае удовлетворения платежеспособного спроса, при условии получения прибыли.

В результате изучения всех используемых, а также ранее предлагаемых показателей для оценки эффективности работы грузового автотранспорта автором предложен показатель, который представляет собой отношение фактически полученного значения относительной прибыли $\bar{\rho}_i$, в том числе и в условиях переменного характера спроса на грузовые перевозки к номинальному $\bar{\rho}_{ном}$

$$K_{эф} = \bar{\rho}_i / \bar{\rho}_{ном}.$$

В качестве номинального показателя относительной прибыли выступает относительная прибыль, полученная за определенный интервал времени с конкретными рыночными ценами на перевозки и на затраты при условии отсутствия неравномерности спроса, то есть в случае полного использования провозных возможностей системы. Относительная прибыль рассчитывается по модели С.А. Жданова, которая построена на основе закона возмещения

затрат на производство и сбыт продукции [1].

В качестве входных параметров относительной прибыли необходимо учитывать спрос, рыночные цены на транспортные услуги, переменные постоянные затраты на единицу транспортной работы то есть на тонно-километры. Таким образом существующее ограничение данного показателя это наличие возможности расчета дохода и затрат на единицу транспортной работы, выраженной в тонно-километрах, что достаточно легко рассчитывается при работа на междугородных перевозках. Исследования категориального аппарата пространственно-временного подхода профессора Л.Г. Резника [2] к формированию эффективности автотранспортных систем и его использование позволили сформулировать основные положения формирования эффективности грузовой автотранспортной системы к переменному характеру спроса:

– Стандартными условиями для грузовой автотранспортной системы являются полное использование потенциальных провозных возможностей с определенным соотношением постоянных и переменных затрат в текущий интервал времени при определенных рыночных ценах, но с получением прибыли. Именно в стандартных условиях эксплуатации система имеет номинальные (как их называли ранее плановые) показатели эффективности. В качестве номинального показателя прибыли выступает относительная прибыль, полученная за определенный интервал времени с конкретными рыночными ценами на перевозки с учетом затрат при условии полного использования провозных возможностей системы. Максимально возможное значение показателя эффективности равно 1, что соответствует случаю, когда при любых воздействиях отрицательного фактора внешней среды показатель относительной прибыли будет такой же, как и при полном использовании провозных возможностей при сложившихся ценах на грузовые перевозки и на потребляемые материальные ресурсы [3]. При переменном характере рыночного спроса, когда провозные возможности не востребованы частично или полностью, показатель эффективности, является фактически реализованным, будет ниже номинального. Степень влияния переменного характера спроса на эффективность грузовой автотранспортной системы будет зависеть от уровня приспособленности к таким условиям. Чем выше неравномерность спроса во времени, тем большее количество всех ресурсов (трудовых, финансовых и материальных) должен иметь транспортная система для выполнения своей функции. Организация резервирования ведет к увеличению себестоимости транспортных услуг.

– Поддержание высокого уровня приспособленности в условиях переменного характера спроса на грузовые перевозки повлечет за собой дополнительный расход материальных ресурсов, что приводит к необходимости решения задачи оптимизации с учетом ограничения – установления наилучшего соответствия между системой и окружением. Вышеуказанные положения раскрывают механизм формирования эффективности грузовой автотранспортной системы, разработанный посредством реализации пространственно-временного подхода (рисунок 1).

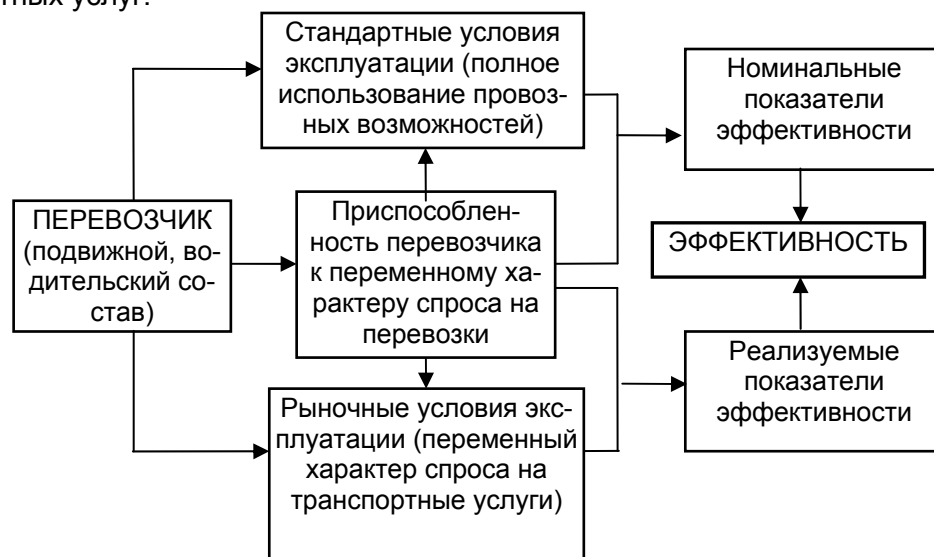


Рисунок 1 – Схема формирования эффективности грузовой автотранспортной системы в условиях рынка

Традиционным подходом к оценке будущего спроса на грузовые перевозки является прогнозирование, базирующееся на анализе и аппроксимации ретроспективных рядов, и использование прямых экспертных оценок о количествах рейсов. Но верификация (оценка точности и достоверности) прогноза является достаточно сложной и неоднозначной и на практике это не получило широкого распространения в виду существенных несовпадений

прогнозируемых параметров спроса с использованием этой системы прогноза с фактическими. К тому же процессы, характеризующие отечественную экономическую ситуацию, не обладают статистической природой в классическом понимании математической статистики, поэтому необходимы нестандартные подходы к моделированию эффективности функционирования грузового перевозчика в условиях неопределенности внешней среды.

Зарубежом основным инструментом исследования перспектив и разработкой как технических так и социально политических решений является форсайт. Россия только начинает свою деятельность в этой области, изучая мировой опыт и реализуя несколько форсайт-проектов отдельных отраслей [3]. Базовые принципы форсайта:

- Будущее творимо; оно зависит от прилагаемых усилий;
- Будущее вариативно (возможно много вариантов будущего)- оно не проистекает из прошлого и зависит от решений, которые будут предприняты участниками;
- Есть зоны, по отношению к которым можно строить прогнозы, но наши действия не предопределены;
- Будущее нельзя спрогнозировать или предсказать, можно быть к нему готовым.

Форсайт ориентирован не только на определение возможных альтернатив, но и на выбор наиболее предпочтительных из них. В процессе выбора применяются различные критерии для определения наиболее предпочтительных вариантов. Выбрав в качестве инструмента методологию форсайта, автор предлагает сформировать несколько вариантов ситуации спроса на грузовые перевозки в виде индекса неравномерности спроса на грузовые перевозки. В зависимости от спроса грузовой перевозчик имеет возможность сформировать рациональный вариант провозных возможностей. Математическая модель ситуации, когда необходимо принимать решение в условиях неопределенности, интерпретируется как выбор оптимальной стратегии (рисунок 2).

В качестве научно-обоснованного выбора стратегии выбран метод ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la Eealite – исключение и выбор, отражающие реальность), который разработан в рамках известного подхода РИПСА (подход, направленный на Разработку Индексов Попарного Сравнения Альтернатив). В методе не определяется количественно по-

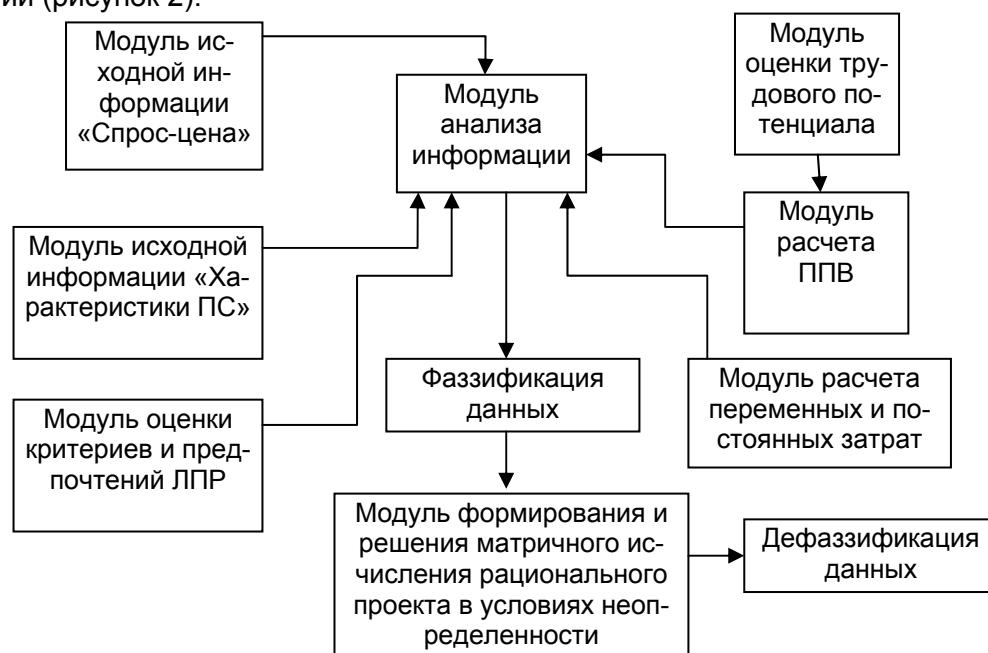


Рисунок 2 – Структурная модель поэтапного выбора рационального проекта грузовой автотранспортной системы

казатель качества каждой из альтернатив, а устанавливается лишь условие превосходства одной альтернативы над другой. В исходном множестве альтернатив выделяется ядро, все элементы которого несравнимы между собой, а любой вариант, в ядро не вошедший, доминируется хотя бы одним элементом ядра. Дальнейшее сужение ядра может быть достигнуто заданием других увеличением первого значения индекса согласия и уменьшением порогового значения индекса несогласия. Детальный анализ позволяет лицу принимающему решение сформировать свои предпочтения, определить компромиссы между критериями.

На основании вышеперечисленных положений обоснован и разработан алгоритм моделирования эффективности грузового автоперевозчика в рыночных условиях на базе дескриптивного и модульного принципа формирования моделей, предложена модель поэтапного выбора рационального проекта грузовой автотранспортной системы (рисунок 3).

Система поддержки принятия решения «Эффективная организация перевозок»

Варианты спроса (ткм)

Спрос 1: 3400000, p1: 0.45

Спрос 2: 3900000, p2: 0.73

Спрос 3: 3600000, p3: 0.83

Описание альтернатив

A Без изменений

B Уменьшить кол-во ПС на 2

C Уменьшить пост. расходы на 10.07

D Закрыть деятельность по перевозкам

В этом случае Гамма: 52, Бета: 1.2

Гамма: 50.13, Бета: 1.4

Расчет

Таблица критериев

Спрос = 3400000 Спрос = 3900000 Спрос = 3600000

	Кэф	Д	Пр
A	3.03	-14,715.17	-2,890,06...
B	NaN	0.00	679,948.00
C	3.03	8,962.30	1,359,949...
D	0.00	0.00	0.00

	Кэф	Д	Пр
A	3.47	-14,715.17	-3,315,06...
B	NaN	0.00	779,948.00
C	3.47	8,962.30	1,559,949...
D	0.00	0.00	0.00

	Кэф	Д	Пр
A	32.05	-14,715.17	-30,600,0...
B	NaN	0.00	7,199,948...
C	32.05	8,962.30	14,399,94...
D	0.00	0.00	0.00

Индексы согласия и несогласия

p - индекс согласия: 0.91

q - индекс несогласия: 0.22

Результат

Расчеты

Матрица согласия

	A	B	C	D
A	-	0.50	1.00	0.50
B	0.00	-	0.50	0.33
C	0.00	0.00	-	0.00
D	0.50	0.50	1.00	-

Матрица несогласия

	A	B	C	D
A	-	0.00	0.00	7.59
B	223.69...	-	0.00	42,607...
C	266.30...	42,608...	-	85,215...
D	181.08...	0.00	0.00	-

Печать

Результат

Рисунок 3 – Скриншот программы СППР «ЭФОП» (Окно просмотра процесса выбора рационального проекта)

В отличие от традиционных методов планирования производственной программы АТП, в предлагаемой структуре отдельные модули представляют собой процесс фазсификации информации представленной от эксперта в виде качественных и количественных (интервальных) исходных данных. Использование структурных модулей позволяет проанализировать исходную информацию и сформировать систему оценки критериев и предпочтений лица принимающего решение для дальнейшего исчисления и принятия решения о формировании провозных возможностей с учетом рыночной ситуации.

Разработанный алгоритм моделирования реализован на языке С# в виде прикладной программы Система поддержки принятия решения «Эффективная организация перевозок» (СППР «ЭФОП»), что по сути представляет собой систему поддержки принятия решения в условиях неопределенности. Программа предоставляет пользователю следующие возможности: расчет провозных возможностей, уровня приспособленности, формирование нескольких прогнозных ситуаций по ситуациям спроса на грузовые перевозки, изменение приоритетности критериев оценки альтернатив, расчет приоритетности альтернатив с возможностью регулирования путем изменения индексов согласия и несогласия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Жданов, С.А. Основы теории экономического управления предприятием: учебник / С.А. Жданов. -М.: Финпресс, 2000. -384 с.
- 2 Резник, Л.Г. Эффективность использования автомобилей в различных условиях эксплуатации / Л.Г. Резник, Г.М. Ромалис, С.Т. Чарков. -М.: Транспорт, 1989. -128 с.
- 3 Смирнова, О.Ю. Исследование приспособленности грузовой автотранспортной системы к условиям рынка / О.Ю. Смирнова // Вестн. Моск. автомобил.-дорожн. ин-та (гос. техн. ун-та). -2009. -№3(18). -С. 67-70.
- 4 Интернет-портал федерального проекта форсайта развития науки и технологий в России [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.foresight-russia.ru>.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: грузовые автомобильные перевозки, приспособленность, неопределенность спроса на грузовые перевозки

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Смирнова Ольга Юрьевна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «ТюмГНГУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 625000, г. Тюмень ул. Володарского,38, ГОУ ВПО «ТюмГНГУ»

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОИМОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ СЕКТОРЕ ВАГОННОГО ХОЗЯЙСТВА

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Т.А. Лунина

THE PECULIARITIES OF THE COSTS GENERATION FOR THE FREIGHT WAGONS OPERATING MAINTENANCE WITHIN THE OPERATIONAL SECTOR OF THE WAGON ENTERPRISE
«Siberian state transport university»
T.A. Lunina

The peculiarities of the costs generation for the freight wagons operating maintenance to arrange mutual settlements with the rolling stock owners are considered in the paper.

Keywords: wagon enterprise, freight wagon maintenance depot, arrangement of mutual settlements with rolling stock owners

Рассмотрены особенности формирования стоимости обслуживания и текущего ремонта грузовых вагонов для организации взаиморасчетов с собственниками подвижного состава.

В последнее время для вагонного хозяйства ОАО «РЖД» наиболее актуальной становится процедура взаиморасчетов с собственниками подвижного состава. Для предприятий эксплуатационного сектора вагонного хозяйства особенно актуальны вопросы прозрачности расчетов с собственниками, поскольку в конечном итоге это ведет к оптимизации эксплуатационных расходов и формирования бюджетов затрат, как на уровне предприятий, так и на уровне ОАО «РЖД».

Одним из основных требований компаний – собственников грузовых вагонов к условиям осуществления перевозочного процесса грузов является обеспечение устойчивой и безопасной эксплуатации подвижного состава с целью соблюдения сроков доставки грузов при оптимальном объеме затрат.

Структура эксплуатационного сектора вагонного хозяйства построена таким образом, что контроль технического состояния грузового вагона осуществляется на всем пути следования.

Пункты технического обслуживания вагонов (ПТО) обеспечивают первоначальный уровень контроля технического состояния вагонов и расположены в парках прибытия, парках отправления на сортировочных станциях, на участковых станциях, грузовых станциях массовой погрузки, выгрузки грузов. Технология обслуживания грузовых вагонов предусматривает осмотр вагона с целью проверки его технического состояния требованиям безопасности перевозочного процесса, а также выявление и устранение технических неисправностей на вагоне, согласно действующему типовому технологическому процессу и типовым нормам оперативного времени на пунктах технического обслуживания грузовых вагонов. Устранение неисправностей в вагонах производится без отцепки от состава и включено в вагонную составляющую тарифа на перевозки.

Механизированные пункты подготовки вагонов под погрузку (МППВ) оснащены сварочными линиями и предназначены для выполнения работ по устранению технических неисправностей кузова грузового вагона. Работы по подготовке вагона под погрузку оплачиваются собственником подвижного состава по фактически выполненным объемам на основании договоров с филиалами ОАО «РЖД».

В целях своевременной ликвидации случаев неисправностей узлов грузового вагона в пути следования производится отцепка неисправного вагона для последующего текущего отцепочного ремонта в эксплуатационных вагонных депо. Данный вид ремонта обеспечивает устранение выявленных неисправностей в пути следования и проведение работ, связанных с предупреждением возникновения иных причин неисправностей грузового вагона за минимальный промежуток времени без перевода вагона в нерабочий парк. В вагонной составляющей тарифа на перевозки не включена стоимость работ по текущему отцепочному ремонту, поэтому собственник – владелец подвижного состава производит оплату выполненных работ дополнительно по заключенным с филиалами ОАО «РЖД» договорным обязательствам [1].

При текущем отцепочном ремонте устраняются все неисправности вагонов, независимо

от причины отцепки: контроль технического состояния и устранение неисправностей колесных пар и буксовых узлов, контроль технического состояния и устранение технических неисправностей ходовых частей, автосцепного оборудования, авторемонтного оборудования, контроль технического состояния и устранение неисправностей кузова вагона.

Для оперативного и достоверного учета стоимости выполненных текущих отцепочных ремонтов, формирования пакета документов к оплате за выполненные работы для собственников грузовых вагонов на Западно-Сибирской железной дороге разработана информационно-аналитическая система «ТОР-Финанс», в которой реализован механизм управления сбором и анализом информации с применением единой нормативной базы работы участков текущего отцепочного ремонта [2].

Ранее проводимые НИЛ «Экономика транспорта» СГУПС обследования технологических процессов Пунктов технического обслуживания Западно-Сибирской железной дороги показали, что в ряде ПТО выполняются работы отличные от типового технологического процесса данных подразделений. Было установлено, что особенности технологических процессов выполнения технического обслуживания вагонов зависят от многих факторов:

- расположения ПТО;
- организации труда;
- организационно-технических условий на производственных участках и рабочих местах;
- применения специального оборудования и оснастки, способствующих повышению производительности труда;
- длины поезда в вагонах;
- длины гарантийного участка;
- типа вагона и др.

Натурная проверка технологии осмотра и ремонта полувагонов на полигоне Западно-Сибирской железной дороги позволила классифицировать и сгруппировать пункты технического обслуживания вагонов в соответствии с особенностями технологического процесса. По расположению были выделены три основные группы ПТО:

- расположенные на грузовых станциях массовой погрузки, выгрузки грузов;
- расположенные на сортировочных станциях;
- расположенные на участковых станциях.

ПТО первой группы характеризуются небольшими объемами работ и выполнением работ по подготовке вагонов к перевозке и наличием сварочного оборудования. На ПТО сортировочных станций имеется специализированная оснастка, и работают комплексные бригады без совмещения профессии осмотрщика вагонов и слесаря по ремонту подвижного состава. На ПТО участковых станций нет специализированного оборудования и оснастки, и работают комплексные бригады с совмещением профессии осмотрщика вагонов и слесаря по ремонту подвижного состава.

ПТО сортировочных и участковых станций обслуживают только проследовавшие вагоны и подготовкой вагонов к перевозке не занимаются. Таким образом, по видам выполняемых работ можно выделить еще три группы ПТО:

- занятые обслуживанием проследовавших вагонов;
- занятые подготовкой вагонов под погрузку;
- занятые обслуживанием проследовавших вагонов и подготовкой вагонов под погрузку

[3].

Пункты технического обслуживания, выполняющие работы по подготовке вагонов под погрузку, оснащены сварочными линиями. Данные работы по технологической принадлежности относятся к технологическому процессу подготовки вагонов под погрузку и для данных подразделений могут быть расценены как «сверхцикловые», то есть заимствованные из технологических процессов отличных от ПТО. Выполнение «сверхцикловых» видов работ обусловлено территориальным тяготением ПТО к угледобывающим предприятиям Кузбасса. В таблице 1 представлена выборка за один месяц текущего года по собственникам подвижного состава и видам выполненных работ на грузовом вагоне по устранению неисправностей кузова. Затраты на эти работы необходимо и планировать и учитывать вне общих затрат Пунктов технического обслуживания вагонов, так как по экономической сути они относятся к прочей деятельности вагонного депо и должны финансироваться по договорным ценам.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Таблица 1 – Неисправности кузова грузового вагона, устраненные при выполнении текущего обслуживания на ПТО

Собственник вагонов	Всего вагонов	Коды устраненных неисправностей кузова вагона									
		к04	к05	к16	к18	к20	к21	к22	к23	к24	
ООО «ТРАНСФИН-М»	2	1	1								
ООО «БРС»	8	5	3								
ООО «ИНТЕРГРУП»	2	1						1			
ОАО «АВАНГАРД-ЛИЗИНГ»	10	4			2	1	4	1	1	4	
ОАО «ВТБ-ЛИЗИНГ»	3	2					1			1	
ОАО «СЕВЕРСТАЛЬ» (ст.Череповец-2)	2	1								1	
УК ОАО «КУЗБАССРАЗРЕЗУГОЛЬ»	15	8	1	4	5		4	2		8	
ООО «ТРАНС ГРУПП АС»	14	2		3	5	6	5	5	2	14	
ООО «ЛК ИНПРОМЛИЗИНГ»	5	4		1	1			1		1	
ОАО «ВТБ-ЛИЗИНГ»	4			1		2	4	1	2	3	
ОАО «НОРДЕА БАНК»	16	9	2	1	5	2	2	1	5	5	
Итого вагонов по видам работ	81	37	7	10	18	11	20	12	10	37	

Коды неисправностей кузова вагона были разработаны при создании информационно-аналитической системы «Бюджетирование прямых затрат ПТО» и данные виды работ были включены в общий справочник работ, наряду с типовыми операциями. Каждая операция имеет нормативную трудоемкость, нормативные материальные затраты и, используя эти данные, можно определить ее себестоимость и цену. В таблице 2 приведены виды выполненных работ и затраты на их выполнение.

Таблица 2 – Стоимость работ по устранению неисправностей кузова грузовых вагонов, выполненных на ПТО, руб.

Код неисправности	Наименование операции	Затраты на устранение неисправностей					
		Зарплата	Отчисления на социальные нужды	Материалы	Итого прямых затрат	Итого с накладными расходами	Итого с рентабельностью 35%
к04	Поставить валик люка	116,92	30,63	2050,9	2198,5	2370,4	3200,04
к05	Закрыть разгрузочный люк	41,65	10,91		52,56	113,83	153,67
к16	Приварить кронштейн поручня составителя	299,2	78,39	57,2	434,6	874,7	1180,85
к18	Приварить подножку составителя	26,46	6,93	102,96	136,4	175,4	236,8
к20	Приварить усилитель крышки люка	94,16	24,67	603,79	722,62	861,13	1162,53
к21	Приварить запор двери верхний	64,2	16,82	1385,4	1466,42	1560,85	2107,15
к22	Приварить планку запора двери нижнего	32,52	8,52	831,24	872,28	920,12	1242,16
к23	Приварить порог двери	424,5	111,2	2610,9	3146,6	3771,04	5090,9
к24	Приварить верхний армировочный лист	271,58	71,15	4677,5	5020,23	5419,72	7316,62
	Итого по операциям	1371,19	359,22	12319,9	14050,21	16067,2	21690,7

Формирование стоимости ремонта и обслуживания необходимо для целей:

- управления затратами;
- взаиморасчетов с собственниками;
- бюджетного планирования и контроля.

Первая предполагает попроцессное калькулирование себестоимости, как переменной, так и постоянной части, что обеспечивается разработанными и внедренными информационно-аналитическими системами.

Реализация второй цели в настоящее время находится в стадии разработки. «Сверхцикловые» работы не оплачиваются собственниками, поскольку выполняются во время технического обслуживания вагонов на ПТО, а эти работы должны возмещаться тарифом на перевозку грузов, вернее его вагонной составляющей. Однако эти работы выполняются

сверх технологического процесса ПТО и должны финансироваться по дополнительным договорам с собственниками подвижного состава.

Выполненная за один месяц и по одному ПТО выборка (см. таблицу 1) показала, что в среднем 8 вагонов каждого собственника имеют дополнительные работы. Стоимость этих работ составляет от 8 до 377 руб. за единицу, без учета рентабельности. Сопоставив данные таблиц 1 и 2 можно определить, за один месяц одно небольшое ПТО не возместило свои расходы на 16 тыс. руб. и недополучило доходы на 21,7 тыс. руб. (см. таблицу 2). Учитывая значительные объемы подготовки вагонов под погрузку на углепогрузочных станциях, недофинансирование подготовки вагонов под погрузку в целом может составить довольно большие суммы.

Использованный в информационно-аналитических системах попроцессный метод учета позволяет и довольно точно планировать затраты на «сверхцикловые» работы ПТО, используя эмпирические коэффициенты, полученные по данным наблюдений за работой Пунктов технического обслуживания грузовых вагонов за последние три года [3].

Таким образом, при взаиморасчетах с собственниками подвижного состава, работы, относящиеся к подготовке вагонов под погрузку и фактически выполняемые при устранении неисправностей грузовых вагонов на Пунктах технического обслуживания, подлежат компенсации на договорной основе. При этом могут использоваться возможности уже внедренной информационно-аналитической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Дементьев, А.П. Проблема учета затрат и результатов текущего отцепочного ремонта собственников грузовых вагонов с ОАО «Российские железные дороги» / А.П. Дементьев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№2. -С. 112-114.

2 Константинова, В.А. Формирование нормативной базы ОАО «Российские железные дороги» для организации взаиморасчетов с собственниками подвижного состава / В.А. Константинова, В.В. Галтер // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№2. -С. 72-76.

3 Лунина, Т.А. Исследование влияния особенностей технологического процесса на прямые затраты эксплуатационных подразделений вагонного хозяйства / Т.А. Лунина, О.В. Речкунова // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№2. -С. 109-112.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вагонное хозяйство, пункты технического обслуживания грузовых вагонов, организация взаиморасчетов с собственниками

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Лунина Татьяна Аркадьевна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

ФИНАНСОВЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ТРАНСПОРТНОЙ СФЕРЕ

Восточно-Сибирская железная дорога, филиал ОАО «Российские железные дороги»
ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

А.А. Краснощек, Д.А. Динец

FINANCIAL ASPECTS OF THE ECONOMIC SAFETY ANALYSIS IN TRANSPORT SPHERE
East-Siberian Railway, branch of «Russian Railways»
«Irkutsk state transport university»
A.A. Krasnoshchek, D.A. Dinec

The estimation of economic safety is important both for the managing subject, and for economy as a whole. However as one of the purposes of conducting activity is reception of the profit management of safety should be estimated and from the financial point of view.

Keywords: economic safety, transport, financial estimations

Оценка экономической безопасности важна как для хозяйствующего субъекта, так и для экономики в целом. Однако поскольку одной из целей ведения деятельности является получение прибыли, то управление безопасностью следует оценивать и с финансовой точки зрения.

Анализ экономической безопасности предполагает, в первую очередь, идентификацию угроз, которым подвержен исследуемый хозяйствующий субъект. Это особо актуально для предприятий транспорта, так как они часто обслуживают население, и сокращение внутренних затрат благоприятно отражается на тарифах.

Угрозы экономической безопасности принято подразделять на внешние и внутренние (внешние чаще всего связывают с факторами волатильности стоимости денежного измерителя, с недобросовестной конкуренцией, а также с правовыми аспектами деятельности, включенными в общую институциональную среду организации; внутренние угрозы, как правило, связывают с состоянием активов и обязательств, отраженных в бухгалтерском балансе // Необходимо отметить, что для анализа используются данные и других отчетных форм, что, на наш взгляд, способно исказить общую оценку экономической безопасности вследствие несопоставимости данных, поскольку бухгалтерский баланс содержит в себе данные об остатках исследуемых объектов, тогда как отчеты о движении денежных средств и о прибылях и убытках содержат информацию о потоках финансовых и прочих ресурсов, опосредующих движение объектов исследования //). Таким образом, первостепенной задачей анализа экономической безопасности является выбор объектов и инструментов исследования, и, поскольку экономическая безопасность представляет собой динамическую категорию анализа, то объектом исследования необходимо признать потоки ресурсов организации, способные приспосабливаться к изменениям внешней и внутренней среды.

Под экономической безопасностью организации, в свою очередь, мы признаем способ организации индивидуального воспроизводства капитала, при котором в каждый конкретный момент времени обеспечивается такая структура активов и обязательств, которая соответствует критериальным показателям:

- отсутствие тесной детерминированной зависимости между ростом показателей доходности и сокращением прочих показателей эффективности финансово-хозяйственной деятельности;
- одинаковая скорость обращения активов и обязательств в соответствии со степенью срочности;
- незначительный уровень корреляции между объемом выручки и скоростью обращения дебиторской задолженности;
- невозможность единоличного принятия управленческих решений с целью извлечения личной выгоды;
- стабильная структура и стоимость внешних и внутренних транзакций;
- незначительный уровень корреляции скорости оборота кредиторской задолженности и роста затрат на основную производственную деятельность;
- наличие неценовых способов повышения выручки;
- положительная динамика показателей экономической добавленной стоимости, рентабельности капитала, скорректированной на уровень риска и чистого денежного потока от основной деятельности.

Анализ трудов, посвященных оценке экономической безопасности, показывает, что большинство авторов позиционируют экономическую безопасность как нахождение некоторого компромисса между ростом доходности и сокращением риска, как компромисса в агентских отношениях, как нахождение оптимального соотношения между различными показателями производственной, деловой и рыночной активности.

Синтезируя теоретические основы оценки уровня экономической безопасности, можно следующим образом сгруппировать основные подходы к определению показателей экономической безопасности:

1 Ресурсный (инвестиционный) подход – представляет собой совокупность методов описания и анализа экономической безопасности на основании достаточности и доступности финансирования затрат, необходимых для осуществления производственного процесса, а также отдачи от вложенных ресурсов. Данный подход апеллирует к категориям инвестиционного анализа. Общеизвестно, что процесс внедрения инвестиций должен быть оправдан с экономической точки зрения. На этапе планирования инвестиционной деятельности предприятия имеют возможность оценить только соотношение требуемых затрат на осуществление инвестиций и прогнозного уровня полезного эффекта, рассчитанного исходя из выбранного критерия эффективности и обеспечения безопасности на уровне соотношения достаточности и отдачи от ресурсов (капитализация дохода, NPV, CCF, FCF, APV, SAPV, ROV, NOPAT, EBIT, EVA, MVA, SVA, CFROI, CVA и т.д.).

2 Циклический подход – основан на применении теории экономических циклов на осно-

вании длинных, средних и коротких волн экономического развития. При этом угрозы экономической безопасности образуются на стыке таких волн и реализуются в форме перехода к новому циклу экономического развития, либо потерей конкурентных преимуществ.

3 Системный подход – определяет экономическую безопасность как совокупность элементов, составляющих его структуру. К основным элементам, определяющим уровень экономической безопасности, относят производственный, кадровый, организационный, научно-технический, интеллектуальный, инвестиционный и финансовый потенциал. На основании уровня значимости каждого из элементов и количественного измерения состояния элемента определяется совокупный уровень экономической безопасности предприятия.

4 Кластерный (инфраструктурный) подход – определяет экономическую безопасность как способность системы за счет обеспечивающих ее факторов (в том числе инфраструктурных) достигать определенных заданных целей (например, качества экономического роста, качества продукции, объема рынка, диверсификации продукции, конкурентных преимуществ, минимизации риска платежеспособности или экономических убытков, роста стоимости бизнеса, роста рыночной капитализации, сокращения издержек, и т.д.).

5 В качестве дополнения к перечисленным подходам нами предлагается метод анализа динамики показателей, с целью оценки потенциала экономической безопасности, а именно: процессный подход – характеризует уровень экономической безопасности как синергетический эффект движения потоков ресурсов; за счет наличия этого эффекта достигается возможность своевременной реакции на реализацию фактических угроз внутренней и внешней среды, и сохранение положительной динамики экономического роста, а также устойчивость к кризисным явлениям.

В качестве количественного интегрированного показателя потенциала экономической безопасности предлагается использовать среднее геометрическое значение парных коэффициентов корреляции между элементами схемы. Следует заметить, что в зависимости от уровня экономического развития и конкретных условий хозяйствования элементы схемы могут изменяться.

В связи с этим расчет показателя потенциала экономической безопасности предлагается осуществлять с использованием следующей формулы:

$$k_{пз} = \sqrt[n]{KK_{кач}} - \sqrt[m]{KK_{кол}}, \quad (1)$$

где $k_{пз}$ – коэффициент потенциала экономической безопасности;

$KK_{кач}$ – произведение коэффициентов корреляции между показателями роста конкурентных преимуществ;

$KK_{кол}$ – произведение коэффициентов корреляции между показателями приспособления к явлениям внешней среды;

n, m – показатели степени, если n и m – четные числа, то используется формула арифметической средней.

В любом случае, высокий уровень дисперсии между исследуемыми показателями говорит об отсутствии потенциала экономической безопасности и сокращении полезности оборота потоков ресурсов.

С целью развития теории институционального происхождения экономической безопасности в рамках динамического подхода, для оценки стабильности и устойчивости динамики организации нами предлагается использование транзакционного подхода в рамках функционального анализа денежных потоков, поскольку денежное обращение – это наиболее мобильный поток ресурсов, динамика потенциала экономической безопасности наиболее наглядно проявляется именно в движении денежных потоков.

Деньги как носитель капитала обращения являются объектом институционального анализа, поскольку они обеспечивают возможность осуществления транзакций, опосредуя товарный обмен. Роль денег может изменяться в зависимости от объема выполняемых ими функций: деньги являются порождением товарного хозяйства и представляют товар сам по себе, специфическая потребительская стоимость которого состоит в том, чтобы быть всеобщим эквивалентом всех товаров.

Одной из основных угроз экономической безопасности является, на наш взгляд, потеря независимости от контрагентов, причем не только с юридической стороны, а с точки зрения «изъятия реального содержания посредством использования ценового механизма» [1]. То есть, за счет институциональных проблем, связанных с организацией движения денежных потоков, осуществляется перераспределение реального капитала в пользу контрагентов с

более стабильной и одновременно динамичной структурой трансакций.

Механизм ценового изъятия на уровне организации состоит, на наш взгляд, в следующем: произведенная фирмой стоимость имеет некоторую цену в текущих денежных единицах исходя из заданного масштаба цен и положения на рынке. Денежные единицы в процессе обращения, то есть, смены собственника, меняют и покупательную способность. При дальнейшем обращении в некоторые стоимости (с учетом накопления покупательная способность денежных единиц меняется сильнее) может быть изъята часть созданной реальной стоимости в пользу покупателей и продавцов в зависимости от положения на рынке.

Такие переходы возможны в силу того, что деньги в разных трансакциях выполняют разные переходы из одного качественного состояния в другое. В этих разных состояниях владельцы денег обладают разной степенью приспособляемости в зависимости от положения на рынке.

Затраты на использование рыночного механизма можно сократить, поддерживая постоянную структуру трансакций перехода между функциями денег при неизменном количестве функций в самой фирме. Изменения структуры трансакций могут быть оправданы только изменением числа или качественных характеристик функций, выполняемых в рамках хозяйственной системы данной фирмы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Сенчагов, В.К. Стратегические цели и механизм обеспечения экономической безопасности / В.К. Сенчагов // Проблемы теории и практики упр. -2009. -№3. -С. 18-23.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экономическая безопасность, транспорт, финансовые оценки

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Краснощек Анатолий Анисимович, канд. экон. наук, начальник ВСЖД, филиал ОАО «РЖД»
Динец Дарья Александровна, ассистент ГОУ ВПО «ИрГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 7, ВСЖД, филиал ОАО «РЖД»
664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ГОУ ВПО «ИрГУПС»

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПОДСИСТЕМЕ «ОПЕРАТИВНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ»

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

И.С. Дерябина

SIMULATION IN SUBSYSTEM «OPERATIONAL MANAGEMENT»
«Novosibirsk state academy of water transport»
I.S. Deryabina

Suggested one way to determine the destination of empty vessels with voyage form of organization of the movement of the fleet.

Keywords: operational management, simulation modeling, personal computer, interactive mode

Предложен один из путей определения пункта назначения порожних судов при рейсовой форме организации движения флота.

Одной из основных задач оперативного управления работой флота судоходной компании в составе подсистемы «Оперативный менеджмент» является задача о назначении маршрутов для порожних и груженых судов в зависимости от конкретной эксплуатационной ситуации с глубиной прогноза до 10 суток.

Интерес к этой задаче в последние годы неуклонно возрастает по причине сокращения в плане перевозок и использования флота судоходных компаний доли линейной формы организации движения в пользу рейсовой или экспедиционной.

При линейной форме организации движения и соблюдения ритмичности работы флота и портов такая задача не возникает – её решение заложено в графике движения и обработки флота в портах в соответствии с принятыми нормативами и реализуется через декадные планы подачи тоннажа под погрузку и отправление грузов.

В случае нарушения графика движения и обработки судов в пунктах обработки или при работе флота по рейсовой форме приходится решать задачу о назначении маршрутов сле-

дования судов и составов после завершения каждого рейса. В первом случае – до момента ввода судов в график, во втором – еженедекадно или ежесуточно в оперативном режиме.

Для решения поставленной задачи рекомендуется использовать различные методики. Основные из них следующие:

1 На базе теории исследования операций – с использованием методов оптимального планирования.

2 Эвристические методы, основанные на имитационном моделировании совокупности рейсов судов, которые задаются специалистом в процессе проведения расчетов.

Основные положения первой методики изложены в работе [1].

Во втором случае эвристические методы рассматриваются как методы решения задач, построенные на использовании правил, приемов, упрощений, обобщающих прошлый опыт решающего. Как пишет А.Тьюринг – это «игра в имитацию» – предварительное правдоподобное рассуждение, направленное на поиск решения задачи.

Блочная структура имитационного моделирования приведена на рисунок 1. Рассматривается три относительно самостоятельных и взаимосвязанных между собой блоков: подготовка исходной информации, формирование и расчет вариантов работы флота и анализ результатов расчетов.

В первом блоке предполагается подготовить постоянную и оперативную информацию для выполнения расчетов. Состав и порядок её подготовки изложены в работе [2].

Во втором блоке осуществляется имитационное моделирование по выбору маршрутов движения грузенных и порожних судов.

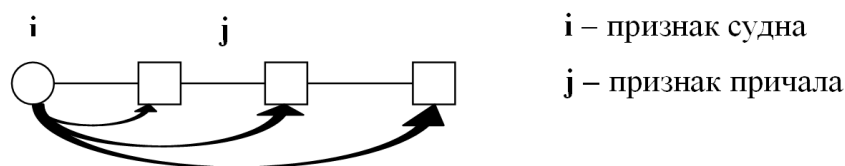
В третьем блоке выполняется анализ и оценка полученных результатов и принятия управленческих решений.



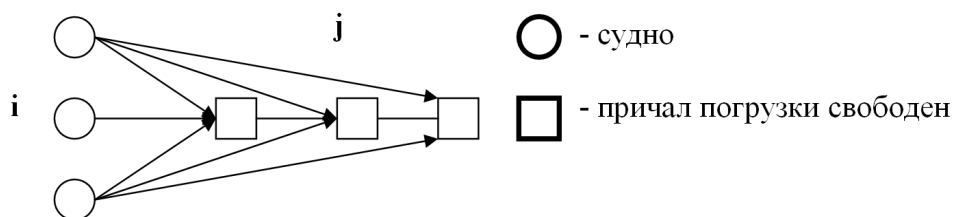
Рисунок 1 – Блочная структура имитационного моделирования

На этапе реализации имитационной модели рассматриваются различные ситуации, складывающиеся в реальной обстановке и в реальном масштабе времени в течение декады. Основные из них следующие:

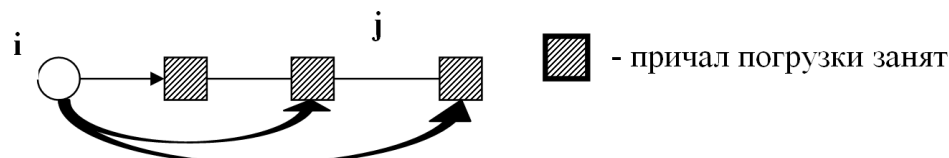
1 Одно судно закончило выгрузку, все причалы погрузки свободны



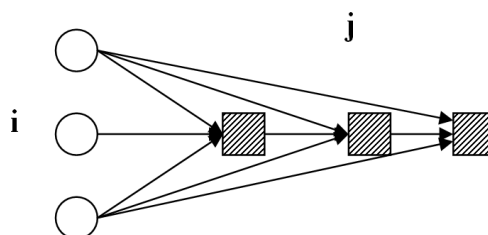
2 Несколько судов закончили выгрузку, все причалы погрузки свободны



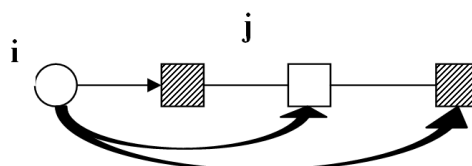
3 Одно судно закончило выгрузку, все причалы погрузки заняты



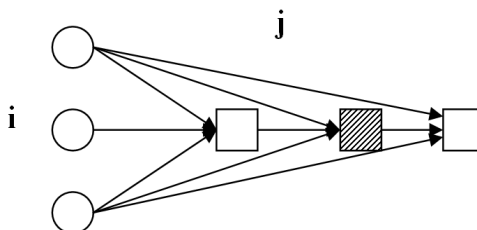
4 Несколько судов закончили выгрузку, все причалы погрузки заняты



5 Одно судно закончило выгрузку, некоторые причалы погрузки свободны, некоторые заняты



6 Несколько судов закончили выгрузку, некоторые причалы погрузки – свободны, некоторые заняты



Последовательность решения задачи по каждому из вариантов различна и определяется их многообразием и относительной сложностью. Однако все они осуществляются в рамках общей модели (рисунок 2).

В качестве критериев оценки вариантов назначения порожних судов в пункты погрузки можно рекомендовать время следования судна от пункта выгрузки до пункта погрузки (t), расходы по судну за время следования до пункта погрузки с учетом времени ожидания освобождения причала в пункте погрузки, когда этот причал занят (Θ), потери провозной способности судна за время следования (Qt_{cn}) и т.п.

Вариант признается допустимым, для дальнейших расчетов по критерию оценки, если

$$t = \min\{t_{ij}\}; \Theta = \min\{C_{ij}^x t_{ij}^x + C_{ij}^{cm} t_{ij}^{cm}\} \text{ или } Qt = \min\{Qt_{ij}\},$$

где C_{ij}^x, C_{ij}^{cm} – соответственно издержки по судну за время хода и время стоянок в течение порожнего рейса;

$$t_{ij} = t_{ij}^x + t_{ij}^{ТП} + t_{ij}^{ОЖ},$$

t_{ij}^x – время хода i -го судна до j -го причала;

$t_{ij}^{ТП}$ – время технических операций в пути следования;
 $t_{ij}^{ОЖ}$ – время ожидания пребывающего судна в j -ом пункте обработки;

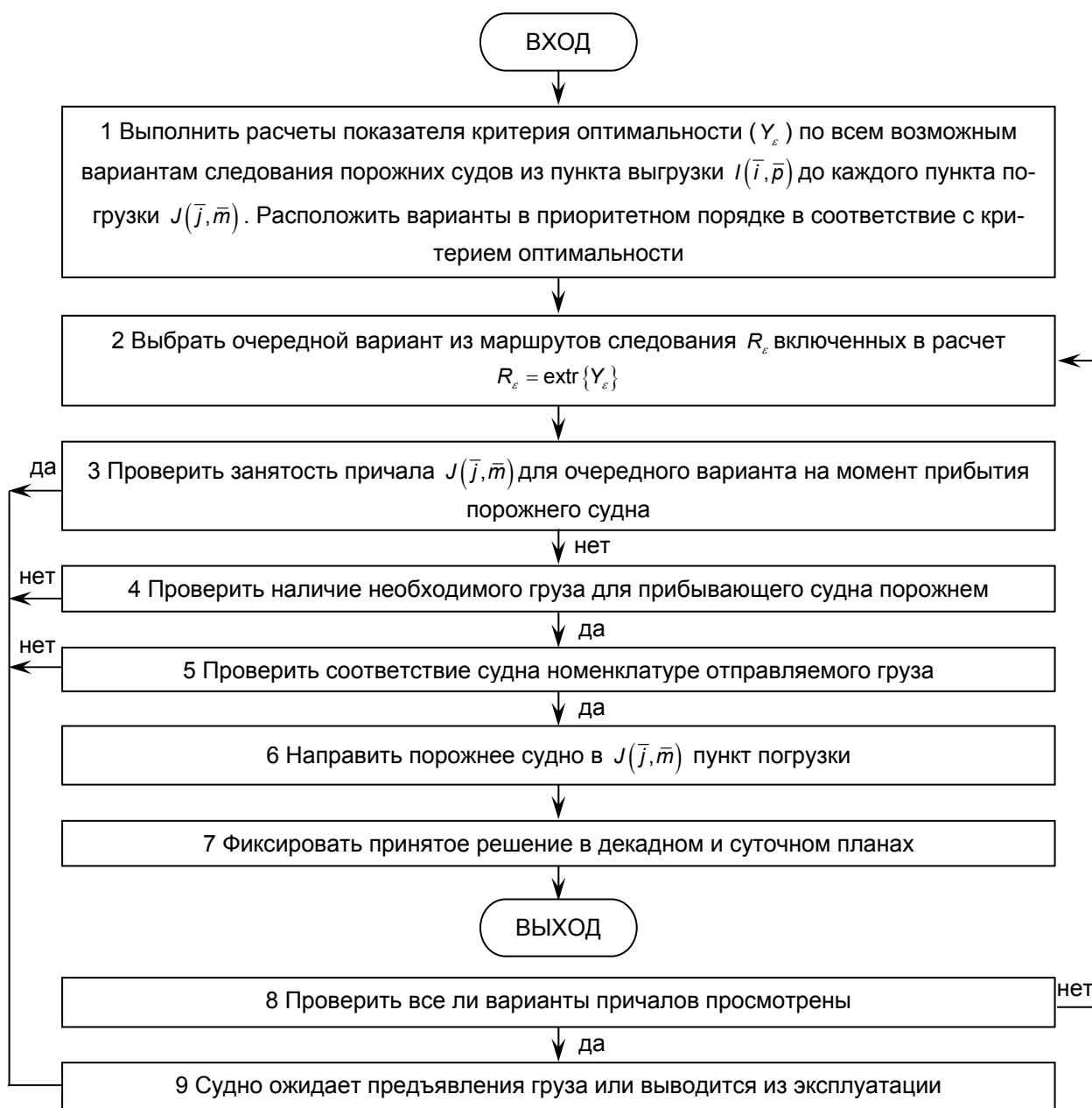


Рисунок 2 – Общая схема логической последовательности решения задачи

При реализации предложенной схемы условно считается, что груз есть на причале погрузки, если по количеству его достаточно для погрузки на прибывающее судно и груза на причале нет, если его недостаточно для прибывающего судна или он полностью отсутствует в соответствии с плановой корреспонденцией грузовых потоков.

Если причал погрузки занят необходимо установить время его освобождения в соответствии с нормативами графика движения. При этом расчетное время освобождения причала $\Delta t_{осв}$ рассчитывается следующим образом

$$\Delta t_{осв_j} = (\Delta Q_{\varepsilon} / P_{\varepsilon p}) + t_{отш},$$

где ΔQ_{ε} – количество оставшегося груза до конца обработки судна, т;

$P_{\varepsilon p}$ – норма обработки судна, т/ч;

$t_{отш}$ – затраты времени на отшвартовку судна и отход от причала, ч.

При этом

$$t_{ож_{ij}} = \Delta t_{осв_j} \cdot$$

Для разработки декадных планов необходимо установить календарные даты прибытия и отправления судов по пунктам обработки. При этом дата прибытия очередного судна в пункт погрузки ($D_{прj}$) устанавливается исходя из следующей зависимости

$$D_{прj} = D_{отij} + t,$$

где $D_{отij}$ – календарная дата отправления i -го судна из последнего пункта выгрузки;

t – время следования i -го судна до j -го пункта обработки.

Плановое время освобождения занятого причала погрузки $D_{осvj}$ рассчитывается по формуле

$$D_{осvj} = D_{Hij}^{GP} + t_{обрj},$$

где D_{Hij}^{GP} – календарная дата начала грузовой обработки судна;

$t_{обрj}$ – затраты времени на обработку судна в соответствии с нормативами графика движения и обработки флота.

При этом

$$D_{осvj} - D_{прj} = t_{ожj}.$$

Изложенный алгоритм имитационного моделирования в подсистеме «Оперативный менеджмент» формализован и может быть реализован на персональном компьютере в диалоговом режиме. При этом исходная информация должна быть подготовлена в виде информационных блоков, отражающих реальную ситуацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Дерябина, И.С. Рейсовая форма организации движения в оперативном управлении / И.С. Дерябина // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№1. -С. 9-12.

2 Дерябина, И.С. Прогнозирование движения флота в подсистеме «Оперативный менеджмент» / И.С. Дерябина // Транспортный комплекс Сибири: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2010. -С. 8-12.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оперативный менеджмент, имитационное моделирование, ПЭВМ, диалоговый режим

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Дерябина Ирина Сергеевна, аспирант ФГОУ ВПО «НГавт»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

МАЛЫЕ РЕКИ – КАК УПРАВЛЯЕМАЯ СИСТЕМА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.В. Зачёсов

SMALL RIVER – HOW TO MANAGE SYSTEM

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.V. Zachjosev

We consider the system properties of small rivers, the systematization of the problem, given the sequence of development and management decisions in the «Small River».

Keywords: small rivers, the problems, a systematic approach

Рассматриваются системные свойства малых рек, систематизируются задачи системы, приводится последовательность разработки и принятия управленческих решений в системе «Малые реки».

Среди основных направлений решения проблемы экономического развития Сибири выделяется проблема развития транспортной инфраструктуры как основы сбалансированного социально-экономического положения региона, интеграции в мировое экономическое пространство и улучшение инновационного климата сибирских территорий.

Стратегия экономического развития Сибири и её место в российской экономике определяется значительным ресурсным потенциалом этого региона [1].

Освоение природных богатств Сибири невозможно без активного участия речного транспорта. Среди основных направлений решения проблемы экономического развития Си-

бири выделяется оптимизация транспортной системы с использованием внутренних водных путей для обеспечения сообщения с отдельными северными районами, где особую роль в системе транспортных связей играют малые реки. Протяженность этой категории водных путей составляет более половины речных магистралей региона. В большинстве районов они оказываются основным и даже единственным видом транспортных путей для перевозки массовых грузов и существенно влияют на развитие производительных сил и социально-экономическую ситуацию в этих районах.

В подтверждение этому в «Концепции развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации» одобренной распоряжением Правительства РФ от 3 июля 2003 г. №909-р, среди задач по улучшению функционирования и повышения конкурентоспособности отрасли выделяются задачи по увеличению протяженности внутренних водных путей с гарантированными габаритами судового хода и освещаемой обстановкой, а также создание судоходных условий для доставки грузов во вновь осваиваемые труднодоступные районы, прежде всего в районы Крайнего Севера, в том числе по малым и быстротекущим рекам.

Кроме этого в составе задач по расширению и развитию рынков транспортных услуг этот документ предусматривает «расширение географии перевозок за счет освоения районов со слабо развитой транспортной инфраструктурой, включая развитие грузовых перевозок по малым рекам Сибири и Дальнего Востока, а также расширение судоходства по малым рекам».

Географическое расположение малых рек на территории Сибири благоприятно для перевозки по ним необходимых грузов предприятиям, стройкам, геолого-разведочным партиям с наименьшими хозяйственными затратами.

Однако малые реки используются для перевозки грузов далеко не полностью. Из общего числа малых рек Сибири, пригодных для судоходства, используются для перевозок около 40%. Это объясняется отчасти тем, что судоходные компании не всегда охотно расширяют этот сегмент рынка транспортных услуг, поскольку флот работает в трудных условиях, темпы пополнения судоходных компаний малотоннажными судами отстают от потребности хозяйственного комплекса, велики стоянки судов под грузовыми операциями в пунктах выгрузки. В связи с этим эксплуатационно-экономические показатели работы флота на малых реках намного скромнее, чем аналогичные показатели при работе флота на магистрали.

Отсюда очевидно, что задача повышения эффективности перевозок грузов по малым рекам и использования транспортного флота для судоходных компаний, работающих на этом сегменте рынка, является крайне важной.

Проблемой транспортного освоения и использования малых рек в качестве транспортных путей занимались ведущие ученые отрасли, в том числе Бунеев В.М., Зачёсов В.П., Кожухарь В.И., Малюшин М.В., Некрасов Н.А., Панюкин А.П., Синицин Г.Я., Юмин Н.А. и др. [2].

Однако в большинстве проведенных исследований по рассматриваемым вопросам не учитывался фактор рыночной экономики, организация и управление работой флота осуществлялись, основываясь на административно-плановой системе хозяйствования.

Экономические реформы, проводимые в России, оказали существенное влияние на работу речного транспорта. Появились новые формы собственности, создается конкурентная среда, новый механизм взаимоотношений между перевозчиками. По многим отраслям хозяйственного комплекса сократились основные показатели работы, в результате ухудшились показатели перевозок грузов на речном транспорте и показатели использования перевозочных средств. Судоходные компании самостоятельно определяют объекты своей деятельности, цены на перевозки стали свободными, повысились требования потребителей к качеству транспортных услуг. Создается ситуация, когда перевозчики вынуждены заниматься вопросами повышения привлекательности своей деятельности, больше уделять внимания маркетинговым исследованиям, обоснованию сегментов своего рынка обслуживания.

Все это в равной мере относится к проблеме организации перевозок и работы флота на малых реках.

В результате перехода хозяйственного комплекса страны к рыночной экономике, смещение грузопотоков в отдаленные и труднодоступные в транспортном отношении северные районы, выдвигаются новые требования к задачам по управлению перевозками и работой флота на малых реках.

Имеющиеся к настоящему времени научные исследования в области совершенствования перевозок грузов и работы флота на малых реках, накопленный производственный опыт приводит к необходимости обобщения и дальнейшего развития технологии и организации

перевозок и работы флота на этой категории водных путей с учетом внедрения на речном транспорте рыночных отношений. Появились новые задачи, которые требуют создания научной методологии обоснования эффективной работы речной системы на малых реках в новых условиях хозяйствования.

Комплекс задач по транспортному исследованию малых рек можно рассматривать как локальную транспортную систему «Малые реки», основной целью деятельности которой является удовлетворение потребностей хозяйственного комплекса региона в перевозках с наименьшими затратами.

Системе «Малые реки» присущи все черты управляемой системы, она подвержена влиянию внешней среды, обладает внутренними взаимосвязями, имеет индивидуальную структуру, включает перечень задач, решение которых позволяет достигать поставленной цели.

Система является комплексной. Входящие в неё задачи в основном многовариантные и оптимизационные. Состав общей системы с выделением отдельных блоков и перечнем входящих в систему основных задач представлен на рисунке.

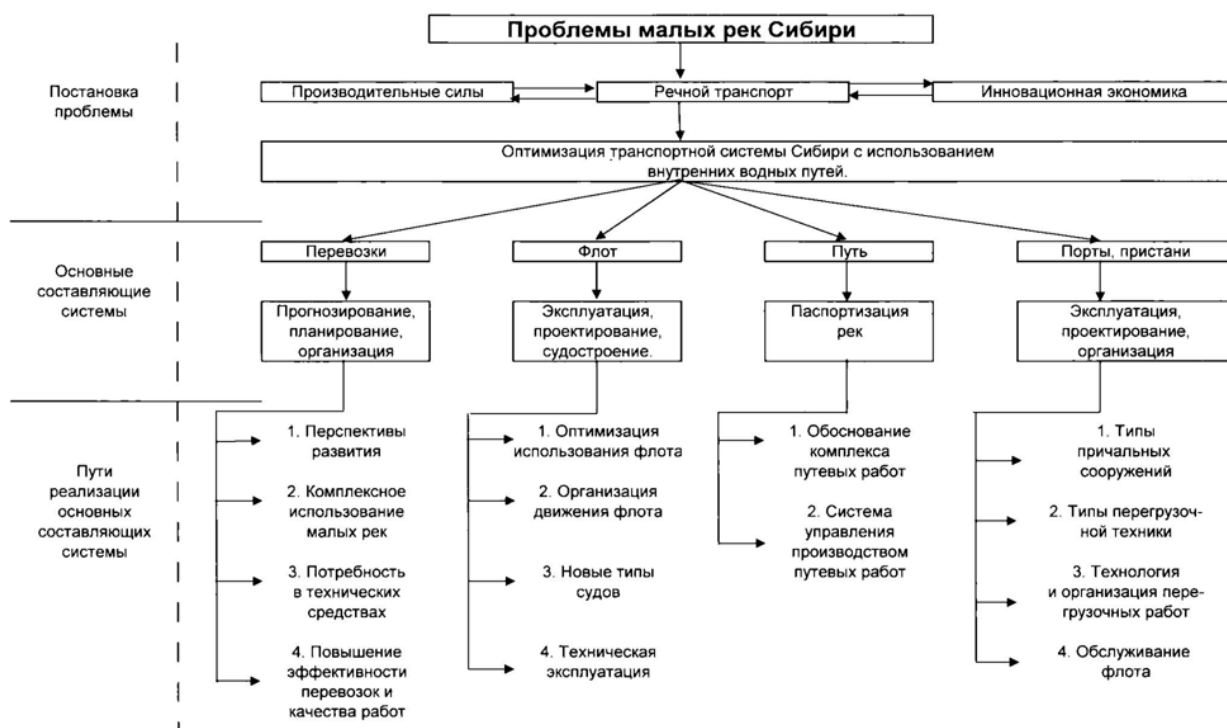


Рисунок – Составляющие системы «Малые реки»

Успешное решение поставленных задач на современном этапе развития хозяйственного комплекса возможно только при условии системного подхода при обосновании управленческих решений в составе системного анализа, системного моделирования и системного управления [3].

В составе системного анализа даётся оценка состояния организации перевозок и работы флота на малых реках и в пунктах обработки.

В составе системного моделирования осуществляется комплексное обоснование технологии и организации перевозок, схемы движения и использование типов флота и перегрузочной техники.

В составе системного управления рассматриваются организационные основы эффективного использования флота и перегрузочной техники при работе на малых реках.

Важным на современном этапе является вопрос оптимального управления речными грузовыми перевозками в целом по бассейнам и малым рекам, в частности. Главным элементом эффективного управления в судоходной компании является планирование основной деятельности, несмотря на изменения в экономике России. В рыночных условиях процесс планирования приобретает новое качество. Одной из главных проблем планирования работы судоходной компании на рынке транспортных услуг становится проблема поиска противозатратного механизма и повышение доходной части по всем видам деятельности.

Увеличить прибыль от работы судоходной компании можно за счёт повышения доходов от производственной деятельности, или за счёт снижения себестоимости на выполнение всех видов работ. Реализация первого пути чаще всего осуществляется через тарифную политику. Однако чрезмерное повышение тарифов на основные виды деятельности может привести к потере основной клиентуры и отрицательно повлияет на доходную часть судоходной компании.

Реализация второго пути ставит перед судоходными компаниями задачи по обоснованию противозатратного механизма для всех видов деятельности, который бы не был капиталоемким и мог быть реализован в короткие сроки. Одним из таких механизмов является широкое использование экономико-математического моделирования производственных процессов, применение которого в судоходной компании позволяет отыскивать оптимальные планы использования ресурсов, не требуя при этом серьезных инвестиций.

В связи с этим при разработке последовательности принятия управленческих решений в системе «Малые реки», экономико-математическое моделирование является доминирующим в составе средств достижения поставленной цели (таблица)

Таблица – Последовательность разработки и принятия управленческих решений в системе «Малые реки»

Основные этапы решения	Характер решаемых задач	Средства достижения поставленной цели
1 Подготовительный	Подготовка исходной информации, отбор вариантов перевозок, предварительный выбор типов тоннажа	Маркетинговые исследования Эксплуатационно-экономические расчеты
2 Оптимизационный	Комплексное обоснование перевозок, общая схема движения флота, обоснование оптимальных вариантов использования флота	Экономико-математические модели Маркетинговые исследования
3 Организационный	Использование логистических принципов в организации доставки грузов, согласование элементов технологического процесса во времени и пространстве. Структура управления перевозками	Транспортная логистика Менеджмент
4 Заключительный	Анализ результатов решения задач системы Оформление рабочей документации.	Менеджмент, логистика

Анализ приведённой в таблице информации показывает, что принятие управленческих решений в системе осуществляется поэтапно. В частности, рассматривается четыре основных этапа: подготовительный, оптимизационный, организационный и заключительный.

На первом этапе готовится вся необходимая информация для проведения расчётов с применением математического программирования и технических средств управления.

На втором этапе разрабатывается комплекс экономико-математических моделей оптимального планирования перевозок и использования флота на перевозках грузов по малым рекам.

Организационный этап решает вопросы реализации оптимальных планов работы технических средств, согласования движения и обработки тяги и тоннажа в пунктах отправления, перевалки и назначения.

При этом широко используются логистические принципы в организации доставки грузов от грузоотправителя до грузополучателя. Важное место здесь занимает научно-обоснованный менеджмент.

На заключительном этапе производится анализ решения всех задач системы, принимается окончательное управленческое решение и осуществляется подготовка рабочей документации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Стратегия экономического развития Сибири // Наука Сибири. -2002. -№39. -С. 7-9.
- 2 Зачёсов, В.П. Малые реки Сибири / В.П. Зачёсов, М.В. Малюшин. -Новосибирск: Сиб. соглашение, 2004. -384 с.

Зачёсов, А.В. Организация перевозок и работы флота на малых реках Сибири в условиях формирования рыночных отношений: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.В. Зачёсов. - Новосибирск, 2009. -19 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: малые реки, проблемы, системный подход

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Зачёсов Александр Венедиктович, канд. техн. наук, помощник проректора ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАВОЗА ГРУЗОВ В АРКТИЧЕСКИЕ РАЙОНЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА

ОАО «Ленское объединенное речное пароходство»

С.А. Ларионов

CURRENT STATUS LOAD DELIVERIES IN THE ARCTIC NORTHEAST

«Lena united river shipping»

S.A. Larionov

Provides information on the dynamics of indicators of freight traffic on the main rivers of the Arctic regions of North-East.

Keywords: river of the North-East, the performance of transport, fleet

Приводится информация по динамике показателей перевозок грузов по основным рекам Арктических районов Северо-Востока.

В районе Северо-Востока на перевозках грузов работают водный, автомобильный и воздушный виды транспорта. Анализ показателей перевозок по различным видам транспорта свидетельствует о том, что из общего количества грузов, завозимых в Арктические регионы Северо-Востока, около 80% приходится на долю речного транспорта. Часть транзитных перевозок в эти районы выполняется морским флотом, в основном на судах грузоподъемностью от 10 до 15 тыс. т зафрахтованных у зарубежных судовладельцев.

Количество перевозок грузов речным транспортом в Арктические районы Северо-Востока постоянно растет (таблица 1 и 2). В перспективе с учетом основных положений «Стратегии экономического развития Сибири» можно ожидать существенного увеличения темпов роста перевозок в эти районы.

Таблица 1 – Количество перевозок грузов речным транспортом в Арктические районы Северо-Востока, тыс. т

Направление	1992 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Всего, в том числе:	1033,8	398,5	400,9	443,0	477,0	409,6	406,1
Тикси	138,0	49,8	49,9	54,2	56,6	37,1	32,7
р.Яна	733,6	143,6	128,9	139,6	161,3	134,6	148,3
р.Оленек	11,3	2,4	4,7	2,5	2,5	2,5	2,4
р.Анабар	10,8	24,9	26,0	26,5	23,6	19,5	25,3
р.Инди́гирка	81,0	43,9	49,2	54,7	48,5	50,7	51,7
р.Колы́ма	48,6	52,1	53,3	50,1	60,4	65,5	64,2
р.Хатанга	10,5	11,8	14,2	31,7	55,9	31,7	10,8
Певек	—	70,0	74,7	83,7	68,2	68,0	70,7

Таблица 2 – Завоз нефтепродуктов наливом северным морским путем, тыс. т

Направление	1996 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Всего, в том числе:	30,8	53,1	40,8	50,6	30,9	14,3	10,6
Тикси	1,6	1,6					
р.Яна		28,9	16,2	19,3	7,2	14,3	3,2
р.Анабар		11,6	13,9	13,0	21,5		4,6
р.Инди́гирка	16,1	0,8					2,8
р.Колы́ма	13,1	10,2	10,7	18,3	2,2		

Из приведенных данных видно, что общие перевозки грузов в Арктические районы за последние пять лет увеличились в 1,5 раза. Существенный рост перевозок отмечается на

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

реках Хатанга, Колыма, Индигирка и Оленек.

Количество перевозок грузов для каждого отдельно взятого направления в ретроспективе выглядит следующим образом. Объемы завозимых грузов в порт Тикси речным транспортом представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Количество перевозок грузов речным транспортом по номенклатуре в п.Тикси, тыс. т

Пункты	Род груза	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Всего		49,8	49,9	54,2	56,6	37,1	32,7
	наливные	45,5	46,3	50,1	50,8	33,2	27,4
	сухогрузы	4,3	3,6	4,1	5,8	3,9	5,3
	из них:						
Осетрово	генгруз	2,3	2,7	2,8	2,9	2,2	2,8
другие	разные	2,0	0,9	1,3	2,9	1,7	2,5

Анализ приведенных данных показывает, что основной объем перевозок (более 90% от общего количества) приходится на перевозки наливных грузов. Объемы перевозок грузов речным транспортом по номенклатуре в пункты реки Яны приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Количество перевозок грузов речным транспортом по номенклатуре в пункты реки Яны

Пункты	Род груза	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Всего		143,6	128,9	139,6	161,3	134,6	148,3
	наливные	32,7	37,2	35,3	51,6	31,2	44,6
	сухогрузы	110,9	91,7	104,3	109,7	103,4	103,7
	из них:						
Осетрово	генгруз	3,0	1,9	3,3	3,0	2,8	2,2
Джебарики	кам. уголь	104,1	84,7	97,1	99,8	89,0	93,5
Зырянка	кам. уголь					8,2	4,2
Якутск	разные	3,8	5,1	3,9	6,9	3,4	

Структура перевозок грузов в пункты реки Яны за последние пять лет существенно не изменилась. Сухогрузы в общем объеме перевозок преобладают по сравнению с наливными грузами и составляют порядка 80%. В номенклатуре перевозимых сухогрузов перевозки каменного угля из Джебарики-Хая составляют более 90% от общего объема сухогрузных перевозок.

Объемы завоза грузов на реки Оленек и Анабар в судах речного транспорта приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Количество перевозок грузов речным транспортом в пункты рек Оленек и Анабар

Пункты	Род груза	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
р.Оленек	наливные	2,4	4,7	2,5	2,5	2,5	2,4
р.Анабар	наливные	24,9	26,0	26,5	23,6	19,5	25,3

Из данных таблицы 5 следует, что в пункты рек Оленек и Анабар осуществляются перевозки только наливных грузов. Объемы перевозок имеют тенденцию роста по обоим направлениям.

Количество груза завозимого в пункты реки Индигирка речным флотом приведено в таблице 6.

Таблица 6 – Количество перевозок грузов речным транспортом в пункты реки Индигирки

Пункты	Род груза	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Всего		43,9	49,2	54,7	48,5	50,7	51,7
	наливные	36,1	38,9	45,7	35,5	37,3	37,9
	сухогрузы	7,8	10,3	9,0	13,0	13,4	13,8
	из них:						
Осетрово	генгруз	1,0	1,0	0,9	0,8	0,9	0,8
Якутск	генгруз	2,2	3,9	2,5	6,6	6,1	7,2
Тикси	генгруз	–	–	–	–	–	0,1
р.Колыма	кам. уголь	4,6	5,4	5,6	5,6	6,4	5,7

Анализ приведенных данных показывает, что наблюдаются высокие темпы роста перевозок наливных грузов в пункты реки Индигирка и на конец анализируемого периода общее количество наливных грузов в общем объеме составляет 85,6%. Перевозки сухогрузов. Наоборот, по годам сокращаются. Наибольший объем в перевозках сухих грузов занимает каменный уголь (до 60%), который поступает из Зырянки.

Изменение объемов перевозок грузов речным транспортом по номенклатуре перевозимых грузов в пункты реки Колымы приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Количество перевозок грузов речным транспортом в пункты реки Колымы

Пункты	Род груза	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Всего		52,1	53,3	50,1	60,4	65,5	64,2
	наливные	38,9	45,8	36,1	42,6	50,1	52,3
	сухогрузы	13,2	7,5	14,0	17,8	15,4	11,9
	из них:						
Осетрово	генгруз	7,3	3,1	5,7	6,2	7,5	4,7
Мохоголок	генгруз	0,6	0,7	1,1	1,2	1,4	0,9
Якутск	генгруз	4,6	3,5	5,7	8,9	6,2	6,2
другие	кам. уголь	0,7	0,2	0,2	1,5	0,3	0,1

Основной объем завозимых грузов в пункты реки Колыма приходится на наливные грузы. В навигацию 2002 года их доля составила 77,5% от общего количества перевозок. Среди сухогрузов выделяются генеральные грузы, поступающие из Осетрово и Якутска.

Объемы перевозок грузов речным транспортом в пункты реки Хатанга приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Количество перевозок грузов речным транспортом в пункты реки Хатанги

Пункты	Род груза	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Всего		11,7	14,2	31,7	55,9	31,7	10,8
	наливные	11,1	12,8	12,6	14,8	10,1	5,0
	сухогрузы	0,7	1,4	19,1	41,1	21,6	5,8
	из них:						
Осетрово	генгруз	0,6	1,1	1,5	3,3	3,0	1,1
Джебарики	кам. уголь			17,0	34,0	18,0	
Зырянка	кам. уголь						3,8
другие	разные	0,1	0,3	0,6	3,8	0,6	0,9

Из приведенных данных видно, что в навигацию 2002 года, кроме наливных грузов, в пункты реки Хатанга существенно возросли перевозки каменного угля из Джебарики-Хая.

Перевозки грузов речным транспортом в порт Певек представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Количество перевозок грузов речным транспортом назначением в п. Певек

Пункты	Род груза	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Всего	сухогрузы	70,0	74,7	83,7	68,2	68,0	70,7
	из них:						
Зырянка	кам. уголь	68,3	74,3	79,7	67,8	67,8	70,6
Находка	генгруз	1,7		2,2			
другие	разные		0,4	1,8	0,4	0,2	

В порт Певек из пунктов Ленского бассейна и р.Колымы перевозятся сухогрузы, в основном, каменный уголь из Зырянки.

Арктические районы Северо-Востока отличают географические, природно-климатические и социально-экономические особенности. В связи с этим к речному флоту работающему в этих районах предъявляются повышенные требования, направленные, в первую очередь, на обеспечение безопасности судоходства.

В таблице 10 представлены характеристики основных типов судов с номерами проектов, способных работать в Арктических районах Северо-Востока, в том числе с выходом на Северный морской путь.

Состав, сухогрузного, наливного и буксирного флота, работающий на перевозках грузов в Арктические районы Восточной Сибири по своим технико-эксплуатационным характеристикам разнообразен и соответствует характеру перевозок и условиям плавания.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Таблица 10 – Основные характеристики флота способного работать в Арктических районах Северо-Востока

Тип судна, номер проекта	Класс регистра	Грузоподъ- емность,т.	Мощность, л.с.	Осадка в полном грузу,м	Габаритные размеры, м		
					длина	ширина	высота
Грузовые теплоходы							
292	М-СП	2100	1800	2,52	128,3	15,6	15,3
1743	М	2100	1400	2,51	108,4	15,0	14,1
1743.7	(М-СП) лед.	2100	1400	2,69	113,3	15,34	16,3
21-88	О	2000	1050	2,81	103,5	12,4	11,67
Танкерный флот							
1577	М	4800	2000	3,51	132,6	16,9	17,5
Р-77	(М) лед.	2150	1320	2,5	108,6	15,1	14,7
621	(М-ПР) лед.	2100	1700	2,5	122,7	15,3	15,3
576Т	О	2800	1000	3,2	110,1	13,4	12,6
866М	О	600	450	1,96	65,5	9,6	9,8
Буксирный флот							
Н-3290	(О) лед.		2400	1,9	54,56	12,01	14,36
428	О		2000	2,07	45,43	12,02	15,57
07521(морской)	(М-ПР) лед.		1200	2,45	50,2	10,4	15,2
Несамоходный флот							
16800	(О) лед.	2500		2,2	102,7	17,5	6,9
Фин-1000	Л*1М	1000		2,53	64,8	12,28	9,85
16800Н	(О) лед.	2500		2,3	103,1	17,4	6,7

Из приведенных данных видно, что на этих перевозках задействован флот М; М-СП; М-ПР; О класса Российского речного регистра. При этом на морских трассах следования судов предусматривается как с ледокольной проводкой, так и без неё, а также при необходимости с привлечением морских буксиров.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: реки Северо-Востока, показатели перевозок, флот

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Ларионов Сергей Александрович, генеральный директор ОАО «ЛОРП»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 677980, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Дзержинского, 2, ОАО «ЛОРП»

ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ОРГАНИЗАЦИЯХ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

И.А. Пичурина

ORGANIZATIONAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF RISK MANAGEMENT IN UNITED WATER TRANSPORT
«Novosibirsk state academy of water transport»
I.A. Pichurina

The economic activities of organizations of water transport in many ways fraught with risks. Development of a comprehensive risk management tools will reduce (avoid) them in the economic activities of organizations of water transport.

Keywords: risks, hazards, risk analysis, risk management

Экономическая деятельность организаций водного транспорта во многом сопряжена с рисками. Разработка комплексного механизма управления рисками позволит снизить (избежать) их в экономической деятельности организаций водного транспорта.

Развивающиеся рынки Российской Федерации характеризуются более высоким уровнем рисков, чем более развитые рынки других стран.

Экономическая деятельность организаций водного транспорта (ОАО «Новосибирский речной порт») во многом сопряжена с такими рисками, как: отраслевые риски, страновые и региональные риски, финансовые риски, правовые риски, «криминальные» риски, риски, связанные с деятельностью организации.

К основным отраслевым рискам можно отнести позднее вскрытие рек, раннее мелко-

дые, неустойчивый водный режим, а также ориентирование транспортных потоков на другие виды транспорта.

Изменение цен на сырье, услуги, используемые организациями водного транспорта в своей деятельности, могут вызвать увеличение себестоимости оказания услуг транспортной организации и, следовательно, увеличение цен на услуги.

Существует риск снижения спроса на продукцию, услуги и работы со стороны смежных отраслей.

К страновым политическим рискам относятся вероятность смены руководства страны, прихода к власти оппозиции, вероятность выборов парламента, оппозиционного текущему политическому курсу правительства. Региональные политические риски связаны со сменой руководства конкретного региона.

Основными факторами возникновения политических рисков являются:

- неустойчивость федеральной власти;
- неопределенность политического курса федеральной власти;
- неопределенность экономической политики федерального правительства;
- отсутствие либо несовершенство законодательной базы, регуливающей экономические отношения;
- недостаточная эффективность судебной системы;
- неустойчивость власти субъектов Федерации.

Организация водного транспорта (ОАО «Новосибирский речной порт») зарегистрирована в Российской Федерации и осуществляет свою деятельность в Новосибирской области, поэтому существенное влияние на её деятельность оказывают как общие изменения в государстве, так и в регионе.

Новосибирская область является перспективным регионом в отношении дальнейшего экономического развития и увеличения деловой активности. В Новосибирской области (в частности в городе Новосибирске) очень много промышленных предприятий, однако в большинстве своем случае они не работают или находятся на грани банкротства тем самым, повышая риск невостребованности грузового транспорта.

ОАО «Новосибирский речной порт» не осуществляет валютных операций, но изменение (резкое колебание) курса евро (доллара) может негативно сказаться на работе организации (через изменение цен поставщиков товаров, материалов, услуг).

Колебания валютного курса могут оказать влияние на общий уровень деловой активности в России, что, в свою очередь, повлияет на изменения в объемах операций на рынке ценных бумаг РФ и, следовательно, на финансовое положение ОАО «Новосибирский речной порт».

Наиболее подвержены изменению в результате влияния финансовых рисков, следующие показатели финансовой отчетности:

- кредиторская задолженность – увеличение сроков оборачиваемости;
- денежные средства – уменьшение свободных денежных средств;
- прибыль от основной деятельности – сокращение.

Риски, связанные с изменением налогового законодательства:

– риск увеличения налогового бремени может уменьшить величину чистой прибыли организации;

– риск введения новых требований к налоговому учету и налоговой отчетности может увеличить затраты на обучение специалистов;

– риск усиления налоговой ответственности за правонарушения.

Риски, связанные с изменением лицензионных требований:

– риск несоответствия деятельности организации новым лицензионным требованиям.

Риски, связанные с изменением судебной практики:

– риск неблагоприятных для организации судебных решений, если у организации будут текущие судебные процессы и изменение судебной практики может непосредственно повлиять на их результаты.

Риски, связанные с деятельностью организации:

- распад транспортных схем по СНГ;
- структурные преобразования экономики России, в том числе транспорта;
- общее падение производства всех отраслей обслуживаемых речным транспортом;
- низкая платежеспособность клиентов;
- невозможность обновления техники, приобретения запасных частей из-за остановки

большинства заводов-изготовителей и, как следствие этого, высокая их стоимость.

Осуществление экономической деятельности организации в условиях неопределенности и риска обусловило необходимость разработки организационно-методических основ управления рисками в организациях водного транспорта.

Управление риском можно охарактеризовать как совокупность методов, приемов и мероприятий, позволяющих в определенной степени прогнозировать наступление рискованных событий и принимать меры к исключению или снижению отрицательных последствий наступления таких событий.

Вместе с тем, теория и практика управления риском выработала ряд основополагающих принципов, которыми следует руководствоваться субъекту управления. К ним относятся:

1) Принцип максимизации, который предусматривает стремление к наиболее полному охвату возможных сфер возникновения рисков, то есть – этот принцип обуславливает сведение степени неопределенности до минимума.

2) Принцип минимизации означает то, что организации стремятся свести к минимуму, во-первых, спектр возможных рисков, а во-вторых, степень их влияния на свою деятельность.

3) Принцип адекватности реакции сводится к тому, что организация должна адекватно и быстро реагировать на все изменения, которые вызываются реализацией риска и возможностью его возникновения, то есть в тех случаях, когда он становится реальностью.

4) Принцип принятия – только когда риск обоснован, организация может его принять.

Для процесса управления риском необходимо, прежде всего, прогнозировать проявление тех или иных проблем и соответствующих ситуаций. Под прогнозом будем понимать научно - обоснованное суждение о возможных состояниях объекта в будущем, об альтернативных путях и сроках его существования.

Целесообразность принятия какого-либо предпринимательского решения, в природе которого изначально заложена определенная степень риска, может быть выявлена путем его анализа и оценки. Это означает, что для эффективной деятельности необходимо не только знать о возможном экономическом риске и сделать его качественный анализ, но и необходимо оценить его, определить его степень.

Многие финансовые операции связаны с существенным риском. Они требуют оценить степень риска и определить его величину. Степень риска – это вероятность наступления случая потерь, а также размер возможного ущерба от него. Риск предпринимателя количественно характеризуется субъективной оценкой вероятной величины максимального и минимального дохода (убытка) от данного вложения капитала. При этом, чем больше диапазон между максимальным и минимальным доходом (убытком) при равной вероятности их получения, тем выше степень риска. Принимать на себя риск предпринимателя вынуждает неопределенность хозяйственной ситуации, которая во многом определяется фактором случайности.

Одной из основных причин неэффективного управления рисками является отсутствие ясных и четких методологических основ этого процесса. Анализ приводимых в литературе принципов управления рисками показывает их разрозненность, а отдельным попыткам их систематизации присущи множество спорных моментов. Тем не менее, анализ исследований в области методологии управления рисками с учетом требований современной экономики позволяет сформировать систему принципов управления рисками:

– решение, связанное с риском, должно быть экономически грамотным и не должно оказывать негативного воздействия на результаты финансово-хозяйственной деятельности организации;

– управление рисками должно осуществляться в рамках корпоративной стратегии организации;

– в управлении рисками принимаемые решения должны базироваться на необходимом объеме достоверной информации;

– при управлении рисками принимаемые решения должны учитывать объективные характеристики среды, в которой организация осуществляет свою деятельность;

– управление рисками должно носить системный характер;

– управление рисками должно предполагать текущий анализ эффективности принятых решений и оперативную корректуру набора используемых принципов и методов управления рисками.

Сущность каждого этапа управления рисками предполагает применение различных ме-

тодов. Данные методы систематизируются в поэтапный процесс реализации риск-менеджмента в организации.

Весь процесс управления рисками можно отобразить следующим образом:

1 Постановка целей управления рисками;

2 Анализ риска;

3 Качественный анализ;

4 Количественный анализ;

5 Выбор методов воздействия на риск;

6 Анализ эффективности принятых решений и корректировка целей управления рисками, и к началу.

Этап постановки целей управления рисками характеризуется использованием методов анализа и прогнозирования экономической конъюнктуры, выявления возможностей и потребностей организации в рамках стратегии и текущих планов его развития.

На этапе анализа риска используются методы качественного и количественного анализа: методы сбора имеющейся и новой информации, моделирования деятельности организации, статистические и вероятностные методы и т.п.

На третьем этапе производится сопоставление эффективности различных методов воздействия на риск: избежание риска, снижение риска, принятие риска на себя, передача части или всего риска третьим лицам, которое завершается выработкой решения о выборе их оптимального набора.

На каждом из этапов используются свои методы управления рисками. Результаты каждого этапа становятся исходными данными для последующих этапов, образуя систему принятия решений с обратной связью. Такая система обеспечивает максимально эффективное достижение целей, поскольку знание, получаемое на каждом из этапов, позволяет корректировать не только методы воздействия на риск, но и сами цели управления рисками. Базовым этапом, позволяющим сформировать дальнейшую стратегию управления рисками, является этап анализа риска.

Задачей качественного анализа риска является выявление источников и причин риска, этапов и работ, при выполнении которых возникает риск, то есть:

– определение потенциальных зон риска;

– выявление рисков, сопутствующих деятельности предприятия;

– прогнозирование практических выгод и возможных негативных последствий проявления выявленных рисков.

Методы качественного анализа можно разделить на четыре группы:

1 Методы, базирующиеся на анализе имеющейся информации;

2 Методы сбора новой информации;

3 Методы моделирования деятельности организации;

4 Эвристические методы качественного анализа;

Итоговые результаты качественного анализа риска, в свою очередь, служат исходной информацией для проведения количественного анализа. На этапе количественного анализа риска вычисляются числовые значения вероятности наступления рисков событий и объема вызванного ими ущерба или выгоды.

Рассматривая всю совокупность методов количественного анализа рисков, можно сказать, что применение конкретного метода зависит от множества факторов:

– для каждого типа анализируемого риска существуют свои методы анализа и конкретные особенности их реализации. Например, при анализе технико-производственных рисков, связанных с отказом оборудования наибольшее распространение получили методы построения деревьев;

– для анализа рисков существенную роль играет объем и качество исходных данных. В противном случае вероятнее всего применение экспертных методов или методов нечеткой логики;

– при анализе рисков принципиально важно учитывать динамику показателей, влияющих на уровень риска. В случае анализа рисков ряд методов попросту неприменим;

– при выборе методов анализа следует принимать во внимание не только глубину расчетных данных, но и горизонт прогнозирования показателей, влияющих на уровень риска;

– большое значение имеет срочность и технические возможности проведения анализа;

– эффективность применения методов анализа риска повышается при формализации риска с целью математического моделирования его воздействия на результаты деятельности.

сти организации. В настоящее время не только экономические системы, но и промышленные комплексы достигли такой сложности, что зачастую расчет их устойчивости невозможен без элементов теории вероятностей;

– следует учитывать требования государственных контролирующих органов к формированию отчетности о рисках. В том случае, если на нормативном уровне требуется использование методов имитационного моделирования, их применение обязательно.

На завершающем этапе управления рисками проводится анализ эффективности выбранных методов воздействия на риск. Результатом данного этапа должно стать новое знание о риске, позволяющее откорректировать ранее поставленные цели управления риском.

Разработка комплексного механизма управления рисками позволит снизить (избежать) их в экономической деятельности организаций водного транспорта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *риск, виды рисков, анализ рисков, управление риском*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Пичурина Инна Анатольевна, старший преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

МЕТОДОЛОГИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ И РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА

**ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»**

Н.Г. Репина

METHODOLOGY OF INTELLECTUALIZATION AND DEVELOPMENT OF OPERATIVE MANAGEMENT SYSTEMS

«Siberian state university of telecommunications and information sciences»

N.G. Repina

The most timely way of modern enterprise management system development is intellectualization. This paper proposes the basis of methodology of intellectualization and development of operative management systems.

Keywords: operative management, intellectualization, computer intellect

Наиболее актуальным направлением развития современных систем управления предприятиями является их интеллектуализация; в статье предлагаются основы методологии интеллектуализации и развития систем оперативного менеджмента.

Интеллектуализация систем управления (СУ) социально-экономическими системами – это одно из наиболее отличительных направлений их развития. Главная особенность этих СУ состоит в том, что это – человеко-машинные системы с определенной степенью автоматизации информационных процессов и принятия управленческих решений. Поэтому интеллектуализация в традиционном понимании этой категории должна охватывать не только информационно-технологические, но и социальные аспекты; в этом как раз и сосредоточены основные сложности. Это также обусловлено необходимостью расширения сферы решаемых задач и контингента пользователей, что требует повышения степени автоматизации и эффективности всего процесса управления.

Современные элементарно-технологическая база и информационные технологии СУ представляют наибольшие возможности развития их структур и адаптации к современным условиям. Характерные черты развития структур и инструментальных средств переработки информации приобретают различные удельные значения в зависимости от проблемной ориентации СУ.

Исходя из общего направления развития инструментальных средств, для их создания представляется методологически важным раскрыть понятие «интеллектуализация» как повышение уровня «встроенного» или машинного интеллекта (МИ). Как фундаментальное понятие, МИ был предложен в работе [1] именно для выделения совокупности свойств машины, которые характеризовали бы ее «интеллектуальность» (понятливость, способность к взаимодействию, эрудиция и мышление, организованность и др.).

К совокупности свойств инструментальных средств (ИС), обеспечиваемых их функциональным и структурным составом (информационное, математическое обеспечение, комплекс технических средств (КТС), объединяющий аппаратные и программные средства и т.д.) и объединяемых понятием МИ, относятся следующие свойства:

1 Восприимчивость к языкам программирования высокого уровня;

2 Состав базы данных, базы знаний, способность к ее пополнению, обучению и оперированию ими. Одним из важнейших аспектов концепции построения систем оперативного менеджмента (СОМ) является возможность создания на их базе проблемно-ориентированных экспертных систем, оперирующих на базе знаний [2,3]. В дальнейшем эти системы представляются в виде «мыслительных» комплексов, позволяющих моделировать процесс мышления как сочетание формализуемой переработки информации на вербальном уровне с элементами интуитивного неформализуемого мышления [4];

3 Дружеский интерфейс вычислительного комплекса и всего КТС с конечным пользователем. Стремление разработчиков к ограничению типов и числа нестандартных технических средств (ТС) и их самостоятельной разработки приводит к широкому набору стандартных ТС для обычных вычислительных операций и процедур ввода – вывода информации при решении проблемно-ориентированных задач в масштабе реального времени. При этом, как показывает многолетняя практика создания КТС различных СУ, ввиду относительно низкой надежности стандартных ТС снижается общая надежность всего технического комплекса и СУ в целом. Кроме того, необходимость комплексирования стандартных и нестандартных ТС, требует создания удобных, гибких интерфейсов.

Попутно также отметим, что использование типовых модельных конструкций в качестве базисных конструктивов ЭММ существенно усиливает тенденции развития модельного комплекса СУ на основе модернизации полученных ранее моделей и создания новых. Поэтому следует особо выделить взаимную инфильтрацию этапов и способов создания информационного, математического и технического обеспечения в рамках концептуального единства создания и развития СУ. Что касается СОМ, то здесь особенно важен учет топологии и соотношений ЭММ оперативного менеджмента, лежащих в основе информационных технологий управления.

4 Эффективность способов обработки информации, осуществляемых аппаратными и программными средствами КТС СУ.

Совокупностью данных свойств обладают СОМ в соответствии с их проблемной ориентацией. Для любых СУ и используемых в них информационных технологий весьма полезно использование в них указанных свойств. Поэтому понятие МИ можно считать применимым к любым СУ, а повышение уровня МИ как раз и является главной задачей их развития.

МИ представляет собой средства информационной поддержки так называемого искусственного интеллекта за счет своих первых двух свойств. Указанные свойства МИ тесно взаимосвязаны между собой, что позволяет создать адаптивную информационную технологию управления; развитие любой из них влечет в той или иной степени развитие остальных, что, в частности, и обуславливает целесообразность объединения этих свойств понятием МИ и рассмотрения комплексной проблемы развития СУ на основе данного понятия.

Первое свойство МИ обеспечивается достаточно высоким уровнем внутреннего языка машины, интерпретируемого внешними средствами и близостью его к адаптивным языкам пользовательского программирования. Реализация второго свойства обуславливает необходимость наличия в этом же языке средств обозначения знаний машины и операций над ними. Третье свойство требует компактность записи и структурной реализации программ системного МО, для чего их язык должен обладать достаточно высоким уровнем – непосредственно интерпретируемый при исполнении программ, он тоже относится к внутреннему языку машины.

Четвертое свойство МИ характеризует рациональность и степень информационной технологии управления, методов и способов обработки информации в том числе и относящихся к реализации предыдущих трех свойств.

Понятие МИ определяет, таким образом, рационально скомплексированные инструментальные средства, к которым относятся также математическое обеспечение (МО), реализованное аппаратными средствами, и чем выше уровень аппаратной поддержки МО, тем выше уровень МИ.

Как показывает практика, концептуальное единство разработок СОМ, системная организация инструментальных средств и их развитие в направлении повышения МИ позволяет добиться повышения уровня интеллекта всей СУ.

Указанные свойства МИ определяют соответственно основные направления развития инструментальных комплексов и СУ в целом в аспекте их внутренней интеллектуализации (языки, знания, организация, информационные технологии).

Эти направления развития должны быть свойственны в той или иной мере большинству систем управления реальным временем (СУРВ); вместе с тем, каждой СУ присущи индивидуальные особенности достижения целей развития параметров интеллектуализации. Эти особенности можно классифицировать как некоторые тенденции: первая – преимущественно аппаратная реализация, вторая – гибкая микропрограммная. Первая тенденция обуславливает наличие аппаратуры с постоянно действующими функционально – специализированными компонентами и возможностями глубокого распараллеливания процессов. Вторая тенденция предусматривает функциональную ориентацию компонент с помощью микропрограммного управления, которые можно ввести в динамическом режиме с внешних носителей информации. Первая тенденция в основном характерна для высокосложных АСУТП, вторая – для относительно меньших организационных СУРВ; практически же наблюдается их сбалансированное сочетание.

Сегодня совершенно очевидно, что СОМ являются наиболее эффективными СУРВ, работающими в современных условиях повышенной динамичности и неопределенности изменений внешней среды. Кроме того, имеющиеся наработки содержат универсальные и в то же время высокоадаптивные решения, пригодные для создания СУ предприятиями различных отраслей. Сегодня стоит задача доведения реализационного инструментария СОМ до уровня типовых стандартов, включения его в имеющиеся стандартные пакеты; при этом названные типовые пакеты также должны быть пересмотрены и модифицированы с учетом работы с инструментальным пакетом оперативного менеджмента. Конечной целью этих работ является создание универсального инструментария стратегического управления, обеспечивающего решение задач стратегического индикативного планирования и оперативного менеджмента.

Использование таких решений на уровне инструментальных конструктивов с высокой степенью интеграции сопряжено с большими трудностями при охвате различных уровней переработки информации; поэтому повышение степени интеграции конструктивов следует проводить осторожно, с учетом их применения в качестве стандартных.

Вообще стандартизация каких-либо процессов, с одной стороны, обеспечивает уровень «не хуже», а с другой ограничивает уровень «лучше». Это до сих пор является предметом многих недоразумений и серьезным препятствием при модернизации имеющихся и разработке новых СУ. Дело в том, что устаревшие технологии производства и управления были жестко «гостированы», и преодоление этих стандартов заставляло многих разработчиков СУ «сходить с дистанции». Таким образом были похоронены многие достижения НТП, которые до сих пор остаются невостребованными, несмотря на их актуальность. Один из корифеев создания различных АСУ, доктор технических наук, профессор Бобко И.М., оценивая эти ситуации, отметил, что сколько-нибудь значимые, эффективные АСУ создавались «партизанскими» методами.

В настоящее время роль автоматизации в проектировании различных СУ существенно возрастает; системы автоматизированного проектирования (САПР) должны учитывать с помощью надежного математического обеспечения как общие, так и специфические особенности проектирования и работы проектируемых систем. Поэтому проблема развития САПР для создания СУ предприятиями различных отраслей становится особо актуальной с учетом проблем развития МИ и информационных технологий управления.

Общей особенностью принципов МИ, свойственной любым многофункциональным СУ, является их структурно-функциональная адаптация к пользователям и задачам. Каждый пользователь своим заданием автоматически создает для себя «персональную» машинную среду, на основе общего для всех заданий оборудования и в условиях их совместного выполнения. Поэтому виртуальность инструментального обеспечения необходима для обеспечения эффективности эксплуатации СУ на основе достоинств МИ. Автоматическое «образование» конкретных «машин», благодаря виртуальным качествам реализационного инструментария обеспечивается структурно-функциональной динамической адаптацией СУ. Такая адаптация является мощным усилителем МИ непосредственно в процессе работы КТС, поскольку позволяет одной и той же аппаратуре динамически придавать разносторонние интеллектуальные качества, определяемые указанными особенностями МИ. Сформируем структурно-функциональные особенности (признаки) СУРВ с учетом их инвариантности к технической реализации:

– Языково-проблемная ориентация с дальнейшим приближением к естественным языкам представления задач, усиленная аппаратной поддержкой реализации некоторых из них

в качестве основных.

– Структурная поддержка работы над знаниями, в том числе организация баз знаний, построение семантических сетей и работы в них для общего развития искусственного интеллекта и, в частности, подготовка различных задач и накопление опыта, пополняющего базу знаний.

– Автоматизация процессов обработки информации, разделение функций управления и обработки информации; применение адаптивных языков для представления операционных и сервисных задач, в том числе, обучения, подготовки и переподготовки пользователей и их реализация с интенсивной аппаратной поддержкой.

– Автоматический контроль и ликвидация сбоев, диагностика и компенсация неисправностей путем реконфигурации структуры; сильная аппаратная поддержка этих функций.

– Применение проблемно-ориентированных (функционально-специализированных) программно-технических комплексов как в процессе проектного комплексирования, отладки и эксплуатации задач СОМ, так и в системе подготовки и переподготовки кадров.

– Разработка новых технических средств для генерации, ввода-вывода и обработки информации, интерфейсных блоков взаимодействия пользователей СУ и восприятия выходной информации.

– Оптимальное комплексирование аппаратных и программных средств в однородные сети с распределением функций между компонентами в процессах осуществления информационных технологий управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Вычислительные машины с развитыми системами интерпретации / В.М. Глушков [и др.]. -Киев: Наукова думка, 1980.

2 Винокуров, С.Г. Модели и методы оперативного менеджмента / С.Г. Винокуров. -М.: Экономика, 2007. -246 с.

3 Ситников, С.Г. Системы оперативного менеджмента диверсифицированных предприятий / С.Г. Ситников. -Новосибирск: Наука, 2008. -208 с.

4 Рабинович, З.Л. Некоторый бионический подход к структурному моделированию целенаправленного мышления / З.Л. Рабинович // Кибернетика. -1979. -№2. -С. 115-118.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оперативный менеджмент, интеллектуализация, машинный интеллект

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Репина Наталья Геннадьевна, соискатель ГОУ ВПО «СибГУТИ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, ГОУ ВПО «СибГУТИ»

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И РЕСУРС КОЛЕСНЫХ ПАР

ГОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»

А.А. Воробьев

THE FUNCTIONAL ANALYSIS OF ACCURACY AND ITS INFLUENCE ON WORKING CAPACITY AND RESOURCE OF WHEEL PAIRS

«St.-Petersburg state transport university»

A.A. Vorobyev

In article the questions connected with the functional analysis of accuracy are considered. Principal causes on which the resource of wheel pair depends are defined. It is shown that a research basis at the functional analysis of wheel pairs is mathematical modeling. Modeling appointment consists in passing from uncertain general provisions to concrete questions by means of the mathematical description of functional properties of wheel pair and construction of mathematical models of functioning.

Keywords: the functional analysis, resource, wheel, pressure, force, loading

Рассмотрены вопросы, связанные с функциональным анализом точности. Определены основные причины, от которых зависит ресурс колесной пары. Показано, что основой исследования при функциональном анализе колесных пар является математическое моделирование. Назначение моделирования состоит в том, чтобы перейти от неопределенных общих положений к конкретным вопросам с помощью математического описания функциональных свойств колесной пары и построения математических моделей функционирования.

К задачам анализа относят выявление функциональных свойств и исследование параметров колесных пар. Различают следующие функциональные свойства (рисунок):



Рисунок – Функциональный анализ точности и его влияние на работоспособность и ресурс колесных пар

- Механические, определяемые соответствием нагружения и напряжения для достижения стабильности функционирования колесных пар [1];
- Метрические (геометрические), определяемые совокупностью соотношений между размерами, с учетом существующих между ними связей [2];
- Кинематические, определяемые степенью приближения движения колесной пары к предписанным законам движения [3];
- Динамические, учитывающие дополнительные силы, возникающие из-за неточности параметров и приводящих к ухудшению функционирования колесной пары [4];
- Механические, определяющие оценку соответствия нагрузок возникающим напряжениям для обеспечения стабильности функционирования колесной пары [5];
- Эксплуатационные, определяющие оценку ресурса колесной пары в зависимости от времени работы вследствие износа и повреждений поверхности катания колесной пары [5];
- Технологические, учитывающие особенности воздействия процессов эксплуатации и

др. свойств колесных пар на качество ремонта и их ресурс [6].

Основой исследования при функциональном анализе колесных пар является математическое моделирование. Назначение моделирования состоит в том, чтобы перейти от неопределенных общих положений к конкретным вопросам с помощью математического описания функциональных свойств колесной пары и построения математических моделей функционирования.

Математической моделью функционирования уточняют номинальное, предельное и допускаемое отклонения показателя качества колеса. Допускаемое отклонение применяют для сравнительной оценки качества, и под ним понимают отклонение фактического (предельного) значения качества изделия K_{ϕ} от номинального K_n , находящееся в установленных пределах

$$\Delta K = K_{\phi} - K_n.$$

Показатель качества K_n с учетом структуры колесной пары имеет вид

$$K_n = f_n(Q_i; S_i; A),$$

где Q_i – параметрическая группа функциональных свойств и свойств материала колеса;
 S_i – параметрическая группа геометрических параметров системы колеса, определяющая расположение деталей между собой в пространстве;
 A – параметрическая группа геометрических параметров каждой детали колесной пары.

В предельное значение показателя K_{ϕ} дополнительно к K_n входят еще отклонения $\Delta S, \Delta Q, \Delta A$ от номинальных значений. Выражая S через A и объединяя отклонения $\Delta S, \Delta Q, \Delta A$ в величине V получим уравнение допускаемого (оптимального) отклонения показателя качества

$$\Delta K = f(V_i; Q_i; A).$$

Из уравнения видно, оптимальное значение ΔK зависит от оптимального значения совокупного отклонения V , оптимальных значений функциональных параметров Q и A деталей колесной пары в целом. Воздействие на ΔK с целью повышения качества изделий является основной задачей анализа.

Таким образом, с помощью функционального анализа точности определены основные параметры, влияющие на ресурс железнодорожного колеса. Изменяя эти параметры можно регулировать и повышать ресурс колесной пары в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Воробьев, А.А. Контактное взаимодействие колеса и рельса / А.А. Воробьев // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. -Иркутск, 2009. -№3(39). -С. 42-47.
- 2 А.с. 92173 Российская Федерация. Устройство для измерения размеров и определения дефектов колесных пар подвижного состава / Воробьев А.А., Урушев С.В., Богданов А.Ф., Иванов И.А., Рязанов Ю. В.
- 3 Воробьев, А.А. Контактное взаимодействие колеса с рельсом и определение режимов обработки железнодорожного колеса / А.А. Воробьев, П.М. Терехов, Ю.В. Рязанов // Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования: тр. Всерос. науч.-практ. конф., 21-23 апр. 2010 г. В 6 т. Т.6 / ДВГУПС; под ред. О.Л. Рудых. -Хабаровск, 2010. -С. 74-78.
- 4 Особенности функционирования колесных пар с повышенной твердостью обода / И.А. Иванов, В.С. Кушнер, А.А. Воробьев, Н.Ю. Шадрин // Новые материалы и технологии в машиностроении: сб. науч. тр. / под ред. Е.А. Памфилова. -Брянск, 2005. -Вып.4. -С. 64-70.
- 5 Воробьев, А.А. Совершенствование технологии восстановления колесных пар повышенной твердости: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.А. Воробьев. -СПб.: ПГУПС, 2005. - 28 с.
- 6 Иванов, И.А. Влияние параметров восстановления на основные характеристики обработки поверхности катания колесных пар / И.А. Иванов, В.С. Кушнер, А.А. Воробьев // Тяжелое машиностроение. -2010. -Вып.4. -С. 34-38.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: функциональный анализ, ресурс, колесо, напряжения, сила, нагрузка
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Воробьев Александр Алфеевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «ПГУПС»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 190031, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 9, ГОУ ВПО «ПГУПС»

АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ СЫПУЧЕГО ГРУЗА ПО КРИВОЛИНЕЙНЫМ ЛОПАСТЯМ РОТОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

ГОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»
ГОУ ВПО «Самарский государственный университет путей сообщения»

Е.П. Дудкин, А.В. Алексеев

THE ANALYSIS OF MOTION OF PARTICLES OF GRANULAR CARGOES ON CURVILINEAR BLADES OF ROTORS OF TECHNOLOGICAL MACHINES

«St.-Petersburg state transport university»

«Samara state transport university»

E.P. Dudkin, A.V. Alekseev

Blade rotors have wide use as working organs, of modern technological machines. The exact methods of calculation and choice of structural parameters of blade rotors are not worked out now. The parameters in every case select by empiric way. Authors of the article developed simple calculation formulas and practical recommendations, concerning the choice of rational construction of rotors with curvilinear blades.

Keywords: granular cargoes, containers, technological machines, blade rotor, curvilinear blade, particle, movement time, calculation formulas

Лопастные роторы имеют широкое применение в качестве рабочих органов современных технологических машин. В настоящее время ещё не разработаны точные методы расчёта и выбора конструктивных параметров лопастных роторов. В каждом конкретном случае указанные параметры подбираются эмпирическим путём. Авторами статьи получены простые расчетные формулы и даны практические рекомендации, касающиеся выбора рациональной конструкции роторов с криволинейными лопастями.

На предприятиях, занятых производством, хранением, погрузкой- выгрузкой и переработкой сыпучих грузов, встречаются технологические машины, у которых рабочие органы выполнены в виде роторов с криволинейными (изогнутыми) лопастями. К таким машинам относятся, например, лопастные выгрузатели сыпучих грузов из приёмочных бункеров погрузочных, лопастные дозаторы сыпучих грузов в тару, разбрасыватели сыпучих грузов и др.

Для выбора рациональных конструктивных и режимных параметров названного типа технологических машин необходимо знать, как влияет кривизна (изгиб) профиля лопастей ротора на способность схода с них частиц сыпучего груза. В настоящее время ещё пока не разработаны точные и однозначные методы выбора требуемых геометрических характеристик лопастных роторов. В каждом конкретном случае параметры лопастных роторов назначаются конструктивно, а затем уточняются опытным путём [1].

Рассмотрим ротор с вертикальной осью вращения как наиболее характерный случай. Пусть профиль каждой из его лопастей очерчен по логарифмической спирали, уравнение которой в полярных координатах имеет вид [2, 3]

$$r = r_{cm} \exp(a\phi^*), \quad (1)$$

где r_{cm} – начальное значение полярного радиуса, м;

ϕ^* – полярный угол, рад;

a – постоянная, характеризующая рост спирали,

$$a = \operatorname{ctg} \psi,$$

$\psi = \text{Const}$ – угол между радиус-вектором, характеризующий положение текущей точки на профиле лопасти и касательной к профилю, проходящей через эту точку, рад.

На рисунке 1а показана схема распределения скоростей частицы при движении ее относительно лопасти ротора в полярной системе координат. Ротор вращается по часовой стрелке. Профиль лопасти очерчен по левой логарифмической спирали, что соответствует изгибу (закручиванию) её по направлению ω .

На частицу груза действуют следующие силы (рисунок 1б):

– сила тяжести $m\bar{g}$ (направлена перпендикулярно плоскости чертежа);

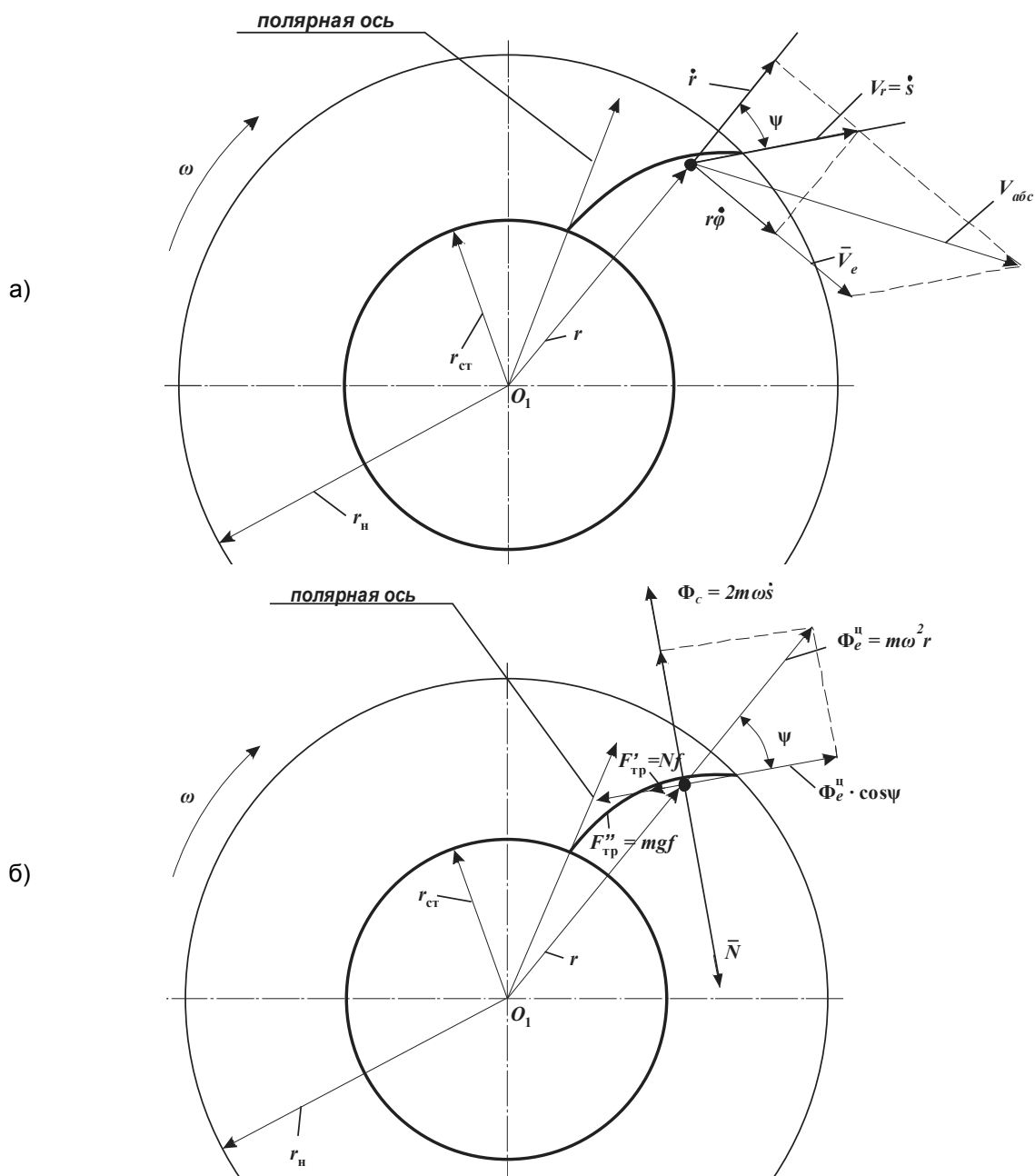


Рисунок 1 – Расчётная схема движения частицы сыпучего груза по криволинейной лопасти ротора, очерченной по левой логарифмической спирали: а)-картина распределения скоростей частицы; б)-схема нагружения частицы

– центробежная сила инерции

$$\Phi_e^u = m\omega^2 r ;$$

– Кориолисова сила инерции

$$\Phi_c = 2m\omega\dot{s} ;$$

– сила нормального давления лопасти

$$N = \Phi_c + \Phi_e^u \cdot \sin\psi ;$$

– сила трения скольжения частицы по лопасти

$$F'_{tp} = Nf ;$$

– сила трения скольжения частицы о дно питателя // Выполненные автором проверочные расчёты показывают незначительное влияние (менее 1%) силы $\bar{F}_{tp}''$ на время и относительную скорость схода частицы с лопасти. Для упрощения исследований силу $\bar{F}_{tp}''$ в дальнейшем не учитываем //

$$F_{tp}'' = mgf .$$

Дифференциальное уравнение относительного движения частицы по лопасти

$$\dot{s} = \omega^2 \cdot r \cdot \cos\psi - 2f \cdot \omega \cdot \dot{s} - f \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \sin\psi . \quad (2)$$

Для полярной системы координат справедливы соотношения (рисунок 1а):

$$\cos \psi = \frac{\dot{r}}{\dot{s}}; \sin \psi = \frac{r\dot{\phi}}{\dot{s}}.$$

Учитывая, что профиль лопастей ротора очерчен по логарифмической спирали (1), можно записать:

$$\dot{r} = r_{cm} \cdot a \cdot \dot{\phi} \exp(a\phi) = r a \dot{\phi}; \dot{\phi} = \frac{\dot{r}}{r a}.$$

Тогда, относительная скорость и относительное тангенциальное ускорение частицы груза вдоль лопасти с учётом рисунка 1а равны:

$$\dot{s} = V_r = \sqrt{\dot{r}^2 + r^2 \dot{\phi}^2} = \frac{\dot{r}}{a} \sqrt{a^2 + 1}; \ddot{s} = \ddot{r} \frac{\sqrt{1+a^2}}{a}.$$

Уравнение (2) приводится к следующему виду

$$\ddot{r} + 2f \cdot \omega \cdot \dot{r} - \frac{\omega^2 \cdot a(a-f)}{1+a^2} \cdot r = 0. \quad (3)$$

Имеем однородное дифференциальное уравнение второго порядка, общее решение которого имеет вид [3, 4]:

$$r = C_1 \exp(k_1 t) + C_2 \exp(k_2 t), \quad (4)$$

$$\dot{r} = V_r = C_1 k_1 \exp(k_1 t) + C_2 k_2 \exp(k_2 t). \quad (5)$$

где C_1, C_2 – постоянные интегрирования, определяемые из начальных условий

$$t = 0; r = r_{cm}; V_r = V_0;$$

$$C_1 = \frac{V_0 - k_2 r_{cm}}{k_1 - k_2} = \frac{V_0}{k_1 - k_2} + \frac{k_2 r_{cm}}{k_2 - k_1}; \quad (6)$$

$$C_2 = \frac{V_0 - k_1 r_{cm}}{k_2 - k_1} = \frac{V_0}{k_2 - k_1} + \frac{k_1 r_{cm}}{k_1 - k_2}; \quad (7)$$

k_1, k_2 – корни характеристического уравнения.

Рассмотрим теперь характер движения частицы груза по лопасти ротора, профиль которой очерчен по правой логарифмической спирали. Направление вращения ротора оставляем прежним – по часовой стрелке. Следовательно, закручивание (изгиб) лопасти в рассматриваемом случае будет противоположно ω . Схема распределения скоростей частицы при движении ее по лопасти ротора в текущий момент времени приведена на рисунке 2а.

Опуская промежуточные результаты, запишем конечный вид дифференциального уравнения движения частицы груза относительно лопасти ротора (рисунок 2б)

$$\ddot{r} + 2f \cdot \omega \cdot \dot{r} - \frac{\omega^2 \cdot a(a+f)}{1+a^2} \cdot r = 0. \quad (8)$$

Общим решением уравнения (8) является выражение (4), полученное ранее для уравнения (3). Выражение для определения относительной скорости частицы совпадает с формулой (5). Постоянные интегрирования C_1, C_2 определяются по полученным ранее формулам (6), (7).

Коэффициенты k_1, k_2 для описанных случаев определяются по следующим формулам:

$$k_1 = \omega \left(-f + \sqrt{f^2 + \frac{a(a \pm f)}{1+a^2}} \right); \quad (9)$$

$$k_2 = \omega \left(-f - \sqrt{f^2 + \frac{a(a \pm f)}{1+a^2}} \right). \quad (10)$$

Знак «минус» соответствует случаю закручивания лопастей ротора по направлению ω (левая логарифмическая спираль). Знак «плюс» – в направлении, противоположное ω (правая логарифмическая спираль).

При проведении практических расчётов перед подстановкой значений V_0 и r_{cm} в формулы для определения постоянных интегрирования C_1, C_2 необходимо проверить выполнение достаточного условия начала движения частицы относительно лопасти ротора. Указанное условие состоит в том, чтобы, во-первых, сохранялся контакт частицы с лопастью, во-

вторых, чтобы величина движущей силы, действующей на частицу, была больше силы трения частицы о лопасть ротора [5].

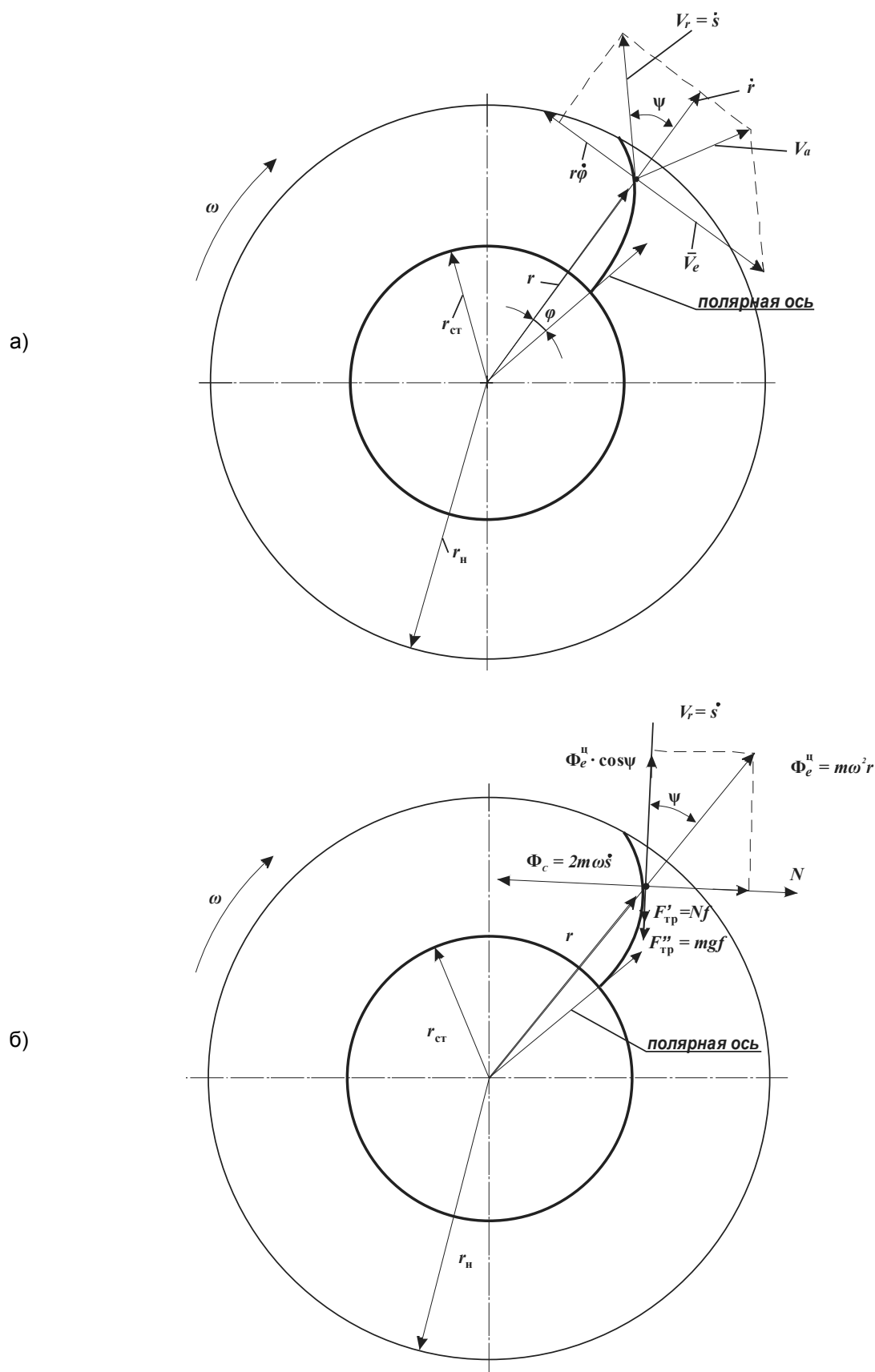


Рисунок 2 – Расчётная схема движения частицы сыпучего груза по криволинейной лопасти ротора, очерченной по правой логарифмической спирали: а)-картина распределения скоростей частицы; б)-схема нагружения частицы

Математически это выглядит следующим образом (рисунок 1 и 2):

$$\left. \begin{aligned} N \geq 0 \\ \Phi_e'' \cdot \cos \psi \geq F_{TP}' \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} V_0 &\geq \pm \frac{1}{2} \cdot \omega \cdot r_{cm} \cdot \sin \psi; \\ V_0 &\leq \frac{1}{2f} \omega (r_{cm} \cos \psi \pm f \cdot r_{cm} \sin \psi). \end{aligned} \quad (11) \quad (12)$$

Знак «минус» соответствует левой логарифмической спирали. Знак «плюс» соответствует правой логарифмической спирали.

Условие (11) устанавливает диапазон значений V_0 , при которых обеспечивается контакт частицы с лопастью. Невыполнение указанного условия приводит к отрыву частицы от лопасти. В технологических машинах с рабочим органом, выполненным в виде лопастного ротора, обычно $V_0 \geq 0$. Условие (12) ограничивает негативное влияние силы трения $\overline{F_{TP}'}$ в момент времени $t = 0$, соответствующий началу относительного движения частицы по лопасти.

Наиболее затруднительным является движение частицы по лопасти, очерченной по левой логарифмической спирали (рисунок 1). Как следует из формулы (12), условие $V_0 \geq 0$ может быть обеспечено только для некоторых сочетаний значений ψ и r_{cm} .

Во всех остальных случаях относительное движение частицы по лопасти является невозможным. Частица как бы «припечатывается» к лопасти и вращается вместе с ней. При использовании роторов с подобным расположением лопастей в реально действующих технологических машинах сход сыпучего груза происходит неравномерно, прерывисто. Сыпучий груз скапливается в межлопастном пространстве ротора. Это вызывает нарушение процесса истечения сыпучего груза из накопительного бункера, под которым установлен лопастной ротор, а, следовательно, приводит к образованию сводов в его полости. Для разрушения сводов требуются необоснованно большие затраты энергии. Приведенные недостатки позволяют говорить о нежелательности применения указанного типа роторов в технологических машинах любого назначения.

Ротор, лопасти которого описаны по правой логарифмической спирали, имеет важное преимущество перед описанным случаем. Оно состоит в возможности реально подобрать потребную скорость V_0 для любого сочетания значений ψ и r_{cm} . Это объясняется меньшей величиной силы трения $\overline{F_{TP}'}$ скольжения частицы по лопасти при одной и той же величине движущей силы $\Phi_e'' \cdot \cos \psi$ (см. рисунок 1 и 2). Указанный тип роторов, однако, имеет свои недостатки. Как следует из формулы (11), условие $N \geq 0$ не выполняется при $V_0 = 0$ и при других близких к нулю положительных значениях начальной скорости частицы. В результате частицы сыпучего груза после контакта с лопастями ротора сразу отрываются от них. Лопасти ротора в этом случае выполняют функцию лопаток, отбрасывая в сторону встречающийся на своем пути сыпучий груз.

Роторы с подобным расположением лопастей целесообразно применять в тех случаях, когда требуется интенсивный сброс сыпучего груза за пределы рабочей зоны ротора, например, в лопастных выгрузателях бункеров или разбрасывателях роторного типа. Однако, они мало применимы в технологических машинах, где сход сыпучего груза с лопастей ротора должен происходить равномерным и непрерывным потоком. К таким машинам относятся, например, дозаторы сыпучего груза в тару. В них поступление сыпучего груза в приёмные окна дозирующих патрубков должно осуществляться равномерным и сплошным потоком. Это необходимо для уменьшения колебаний производительности рабочего процесса. Начальная скорость поступления сыпучего груза в рабочую зону лопастного ротора невелика и составляет обычно не более 1 м/с.

Выполненный авторами анализ расчётных схем движения частиц по криволинейным лопастям ротора выявил следующие характерные особенности. Если ротор вращается против часовой стрелки, а его лопасти очерчены по правой логарифмической спирали, то дифференциальное уравнение относительного движения частиц по лопастям ротора совпадает с уравнением (3), полученным ранее для случая вращения ротора по часовой стрелке, лопасти которого очерчены по левой логарифмической спирали. Аналогично, если ротор вращается против часовой стрелки, а его лопасти очерчены по левой логарифмической спирали, то дифференциальное уравнение относительного движения частиц по лопастям ротора совпадает с уравнением (8), полученным ранее для случая вращения ротора по часовой стрелке, лопасти которого очерчены по правой логарифмической спирали. Таким образом,

вид уравнений относительного движения частиц по лопастям ротора зависит не только от направления изгиба лопастей (направления закручивания спирали), но и от принятого направления вращения ротора.

Подводя итог выполненным теоретическим исследованиям, можно сделать следующие практические выводы:

- форма профиля лопастей ротора имеет большое влияние на характер движения по ним частиц сыпучего груза;
- применение роторов, лопасти которых криволинейны и при этом изогнуты по направлению угловой скорости ω , является технологически нежелательным;
- роторы, лопасти которых криволинейны и при этом изогнуты в направлении, противоположное ω , целесообразно применять в тех случаях, когда требуется интенсивный сброс сыпучего груза за пределы рабочей зоны ротора, например, в лопастных выгрузателях бункеров или разбрасывателях роторного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Зенков, Р.Л. Бункерные устройства / Р.Л. Зенков, Г.П. Гриневич, В.С. Исаев. -М.: Машиностроение, 1977. -223 с.
- 2 Василенко, П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. -Киев, 1960. -284 с.
- 3 Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. -М.: Наука, 1977. -870 с.
- 4 Пискунов, Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление: в 2 т.: учеб. для втузов / Н.С. Пискунов. -М.: Наука, 1978. -2т.
- 5 Яблонский, А.А. Курс теоретической механики: в 2 ч.: учеб. для втузов / А.А. Яблонский. -М.: Высш. шк., 1984. -2ч.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сыпучие грузы, тара, технологические машины, лопастной ротор, криволинейная лопасть, частица, время схода, расчётные формулы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дудкин Евгений Павлович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «ПГУПС»
Алексеев Антон Владимирович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «СамГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 190031, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 9, ГОУ ВПО «ПГУПС»
443066, г. Самара, пер. 1-й Безымянный, 18, ГОУ ВПО «СамГУПС»

УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОЛЕСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

ГОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»

А.А. Воробьев, П.М. Терехов

INCREASE IN A RESOURCE OF A RAILWAY WHEEL A TECHNOLOGICAL METHOD

«St.-Petersburg state transport university»

A.A. Vorobyev, P.M. Tereshov

In article the questions, is connected th resource increase zheleznodo-rozhnogo wheels technological me-todami connected with geometry on-verhnosti drivings are considered. Are defined reason bases thes on which depends re-surs wheel pair. It is shown that the way of turning of wheel pair and the legend to her of more conformal profile with the big inclination of a crest that would allow her to reduce the period extra earnings and, soot-vetstvenno, the period of catastrophic deterioration of the operation stretched almost for all period can become the most simple way uveliche-nija a wheel resource.

Keywords: technological method, wheel, rail, crest, profile, angle of slope, resource, deterioration

Рассмотрены вопросы, связанные с увеличением ресурса железнодорожного колеса технологическими методами, связанными с геометрией поверхности катания. Определены основные причины, от которых зависит ресурс колесной пары. Показано, что наиболее простым способом увеличения ресурса колеса может стать способ обточки колесной пары и предание ей более конформного профиля с большим наклоном гребня, что позволило бы ей сократить период приработки и, соответственно, период катастрофического износа растянувшейся почти на весь период эксплуатации.

Вопрос повышения ресурса колес и рельсов, является на сегодняшний день одним из самых насущных вопросов на российских железных дорогах.

Такое положение дел обусловлено величиной расходов требующихся для поддержания оптимальных эксплуатационных качеств колесных пар подвижного состава, содержания путевого хозяйства, а так же необходимостью отвечать на потребности времени, модернизируя существующую технику и технологии под нужды движения.

На работу системы колесо-рельс в разной степени оказывают влияние около 60 факторов [1]. Эти факторы можно объединить в четыре основные группы, по областями исследований и разработок:

- Динамика системы колесо-рельс;
- Механика контактного взаимодействия;
- Материалы колес и рельсов;
- Управление трением.

В каждой из групп факторов найдутся такие, которые, позволяют селективно регулировать характеристиками элементов системы, используя технологические методы воздействия. К таким факторам можно отнести геометрию поверхности колесной пары и головки рельса, геометрию контакта колеса и рельса на различных участках пути и при различных режимах движения, термические и другие способы управления механическими свойствами материалов участвующих во взаимодействии. Возможность повышения ресурса колеса и рельса технологическими методами основывается на доказанной взаимосвязи геометрических и физико-механических параметров взаимодействующих тел с трибологическими, динамическими, силовыми аспектами взаимодействия.

Одним из основных факторов приведших к катастрофическому снижению ресурса колес и рельсов за счет повышенного износа гребня и боковой поверхности соответственно, имевшей место в 1980-е, 1990-е являлось, по мнению некоторых ученых непонимание трибологических параметров определяющих износ [2, 3]. Увеличения твердости рельсов до 340-360 HB и гребней до 300-700 HV (с учетом плазменного упрочнения) потребовали изменения наклона гребня и боковой поверхности рельса для снижения вероятности появления задиров на этих поверхностях и сокращения периода приработки тел трения к конформному профилю взаимодействия.

Рассматривая профиль поверхности катания колеса следует отметить, что угол соскальзывания α_c сильно влияет на интенсивность изнашивания гребня, а следовательно и поверхности катания колеса.

Угол соскальзывания α_c – это угол наклона плоскости, по которой направляющее колесо накатывается на рельс или соскальзывает с него (рисунок 1).

От его величины зависит возможность вкатывания колеса гребнем на рельс. Чем меньше α_c , тем легче колесо вкатывается на рельс, тем больше частота и амплитуда процесса «вкатывания-соскальзывания» и больше вероятность возникновения задира.

Для снижения вероятности задира боковых поверхностей угол соскальзывания нужно увеличивать [3].

Увеличение угла соскальзывания равносильно увеличению профильного радиуса в контакте конус-конус, поэтому его увеличение сопровождается снижением контактного давления на боковую поверхность рельса, что благотворно отражается на состоянии колеса и рельса, в частности на контактно-усталостные повреждения колес и рельсов. Резко снижается также вероятность вкатывания направляющего колеса гребнем на головку рельса с последующим сходом колесной пары.

Величина эксплуатационного угла соскальзывания зависит от ряда факторов [3]:

- исходных углов наклона гребней и боковой поверхности рельса;

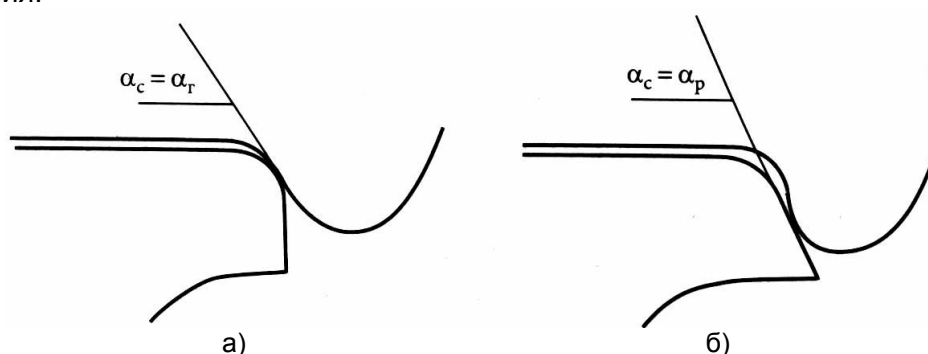


Рисунок 1 – Угол соскальзывания: а)-угол соскальзывания α_c равен углу наклона гребня колеса α_g ; б)-угол соскальзывания α_c равен углу наклона боковой поверхности рельса α_p

- соотношения их скоростей изнашивания и, следовательно, от абсолютного значения и соотношения их твердостей;
- частоты замены и перепрофилирования колес и рельсов;
- интенсивности грузоперевозок;
- соотношения грузовых и пассажирских перевозок и др.

В настоящее время разница между углами наклона боковой поверхности нового рельса и гребня нового колеса составляет $35-37^\circ$. После внедрения закалки рельсов более мягкие колеса стали быстрее прирабатываться к новым рельсам, приобретая угол наклона $70-90^\circ$. Казалось бы, что это чисто положительный момент. С увеличением угла наклона гребня резко сокращается вероятность возникновения задиров боковых поверхностей и сходов состава с рельсов. Если бы их оставили прирабатываться дальше, то и колеса, и рельсы постепенно приобрели бы профиль, близкий к равновесному. Но это посчитали недопустимым и по соображениям безопасности прохождения стрелочных переводов в инструкцию по освидетельствованию колесных пар [4] был внесен дефект – вертикальный подрез гребней. На основании статистических данных угол наклона гребней было предложено ограничить величиной 71° . Получается, что колеса стремятся приработаться к рельсам, а их принудительно перетачивают, заставляя рельсы прирабатываться к профилю нового колеса. В итоге устанавливается эксплуатационный угол соскальзывания, близкий к исходному углу наклона гребней колес, но очень далекий от равновесного, вследствие чего износ оказывается в несколько раз большим, чем при естественном равновесии.

Кроме угла соскальзывания на интенсивное изнашивание профиля оказывает влияние и угол наклона гребня – q_R (рисунок 2).

В 1992 г. требование к углу наклона гребней ужесточили, введя так называемый параметр крутизны гребня q_R и ограничив его величину значением 6,5 мм. Параметр q_R – это расстояние, измеряемое между двумя точками наружной поверхности гребня, одна из которых находится в 2 мм от вершины, а другая – в 13 мм от круга катания колеса (рисунок 2). При $q_R > 6,5$ мм возрастает вероятность сходов, увеличивается вероятность возникновения задиров, повышается скорость бокового износа, растягивается приработку колесно-рельсовой пары на весь срок службы и в конечном итоге, снижается ресурс колес и рельсов. Установившийся угол наклона гребня должен получаться естественным путем в результате изнашивания. Недопустимо принудительно, путем обточек добиваться искусственно установленной величины угла наклона, существенно отличающейся от естественного изношенного профиля.

Когда твердость рельсов в среднем была 260 НВ, а колес 240 НВ, разница между исходными углами наклона в $35-37^\circ$ была оптимальной, и приработка занимала ничтожно малое время. «Вертикальные подрезы гребней», конечно, были, но существовали короткое время и редко замечались. После увеличения твердости рельсов до 340-360 НВ и гребней до 300-700 НВ (с учетом плазменного упрочнения) период приработки и, соответственно, период катастрофического износа растянулись почти на весь период эксплуатации. При увеличении твердости рельсов и колес нужно изменять соотношение углов наклона.

Зарубежом, одновременно с увеличением твердости колес и рельсов увеличили углы наклона гребней с 70° [5] до 75° [6], что способствовало увеличению безопасности движения

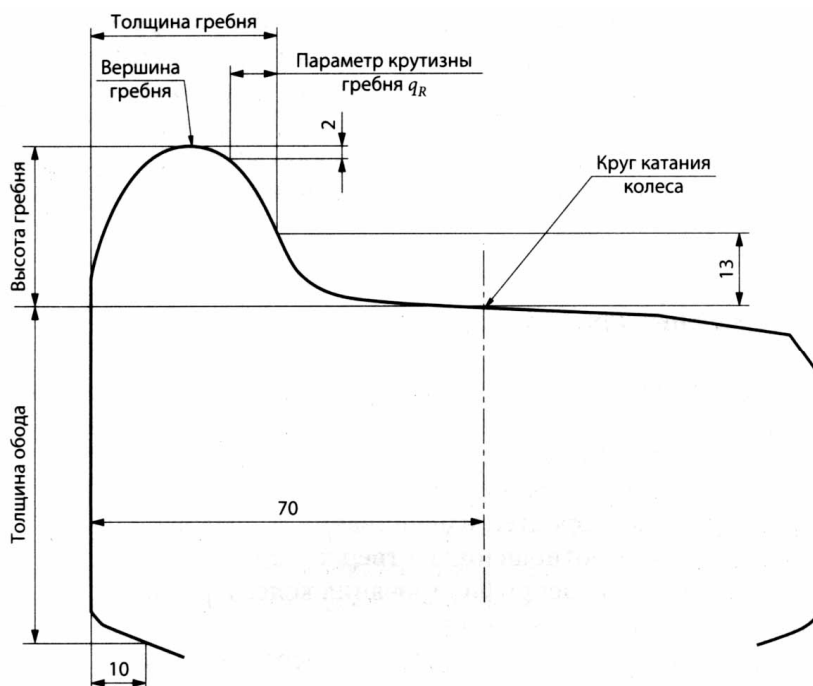


Рисунок 2 – Профиль катания колеса

и прекращению катастрофического бокового износа. Осознание того, что большая твердость, большие углы наклона гребней колес и высокие скорости движения не только не увеличивают боковой износ, но, напротив, приводят к его снижению и в дополнение к этому к снижению контактно-усталостных повреждений колес и рельсов и увеличению безопасности движения, в России продвигается очень медленно [3]. Уже многие страны увеличили углы наклона гребней до 70° и выше, в особенности на скоростных дорогах [7]. В России же исходные углы наклона гребней практически остались без изменения – $60-67^\circ$.

Из практики передовых стран для твердостей 350-400 HV оптимальный угол наклона гребней и боковых поверхностей рельсов в кривых, по-видимому, равен $75-80^\circ$. Такой угол почти полностью предотвращает катастрофический боковой износ и вкатывание направляющих колес на наружный рельс в кривых, в то же время лишь незначительно повышая усталостный износ боковых поверхностей.

Наиболее простым способом может стать способ обточки колесной пары и предание ей более конформного профиля с большим наклоном гребня, что позволило бы ей сократить период приработки и, соответственно, период катастрофического износа растянувшейся почти на весь период эксплуатации [8]. Однако вместо этого было принято решение по фиксации изначального профиля постоянными обточками регламентируемыми стандартами ответственности колеса по углу наклона и по параметру крутизны гребня $q_R > 6,5$ мм. Таким образом, типичной стала ситуация, когда при 2-3-х кратном запасе тела обода по прокату, колеса обтачиваются для исправления единственного геометрического показателя – параметра крутизны.

Для устранения данной проблемы существует технологический метод корректировки изношенного гребня заключающейся в частичной обточке, меняющий профиль гребня только в точках определяющих параметр q_R и оставляющих без изменения поверхность катания колеса (рисунок 3).

Данный технологический метод повышения ресурса колес и рельсов имеет перспективу широкого применения. Это обусловлено возможностью селективно управлять характеристиками всей системы, снижая, эксплуатационные расходы, увеличивая надежность и безопасность движения. При этом используя только воздействие на частные факторы одного из элементов системы, корректируя уже существующие технологические операции, и тем самым не увеличивая материальные расходы на содержание системы.

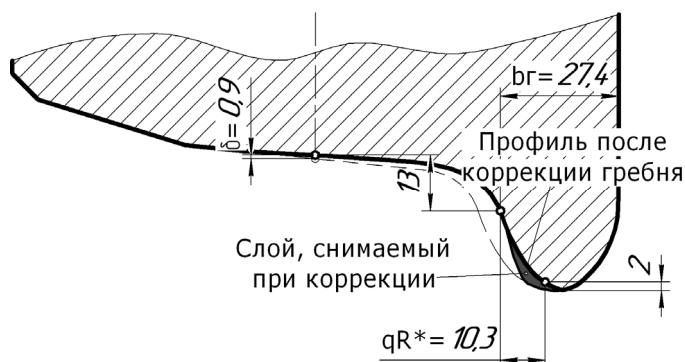


Рисунок 3 – Схема коррекции гребня бандажа (b_g – толщина гребня нового (или обточенного) профиля; δ – вертикальный износ бандажа по кругу катания-прокат; q_R^* – параметр крутизны нового профиля)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса: пер. с англ. / У. Харрис, С. Захаров, Д. Ландгрэн, Х. Турне, В. Эберсон. -М.: Интекст, 2002. -416 с.
- 2 Воробьев, А.А. Совершенствование технологии восстановления колесных пар повышенной твердости: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.А. Воробьев. -СПб.: ПГУПС, 2005. - 28 с.
- 3 Марков, Д.П. Трибология и ее применение на железнодорожном транспорте / Д.П. Марков. -М.: Интекст, 2007. -408 с. -(Труды ВНИИЖТ).
- 4 Инструкция по осмотру, освидетельствованию, ремонту и формированию вагонных колесных пар: ЦВ/3429. -М.: Транспорт, 1977. -87 с.
- 5 Kalousek, J. Contact geometry between wheel flange and rail / J. Kalousek // Div. of mech. eng. rep. Canad. railway Inst. -Vancouver, 1984. -№3. -P. 18.
- 6 Wheel/rail materials and interaction: North American heavy haul practices / D.H. Stone, K. Sawley, D. Kelly, W. Shust // Proc. of IHHN'99 STS-conf. Moscow. -1999. -P. 155-168.

7 Minami, Y.A. Study of Curving Performance by Improving Arc Wheel Profile for Shinkansen [Electronic resource] / Y.A. Minami; Central Japan Railway Company // 4-lh Int. Wheelset congress, Orlando, USA. 2004. -1 CD.

8 Увеличение ресурса бандажей колесных пар локомотивов (технологический метод) / А.Л. Голубенко, В.П. Ткаченко, С.Ю. Сапронова, И.С. Компаниец // Залізничний трансп. України. -2008. -№1. -С. 31-33.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: технологический метод, колесо, рельс, гребень, профиль, угол наклона, ресурс, износ

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Воробьев Александр Алфеевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «ПГУПС»

Терехов Павел Михайлович, аспирант ГОУ ВПО «ПГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 190031, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 9, ГОУ ВПО «ПГУПС»

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В МЕЖРЕМОНТНОМ ПЕРИОДЕ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВЫЖИВАЕМОСТИ ОБЪЕКТОВ

Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
филиал ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей
сообщения»

Т.В. Иванова, Д.Г. Налабордин

STATISTICAL EVALUATION OF FAILURE-FREE OPERATION OF FREIGHT CARS IN THE TURNAROUND TIME ON THE BASIS OF SURVIVAL ANALYSIS OBJECTS

Zabaikalsky railway transport institute, branch «Irkutsk state transport university»

T.V. Ivanova, D.G. Nalabordin

The questions of statistical evaluation of random variable – uptime wagons to overhaul period. To evaluate the method of survival analysis of objects with which we investigate the probabilistic characteristics of time intervals between successive occurrence of critical events. The purpose of the study is to determine the conditional probabilities associated with the prolonged until the end.

Keywords: reliability, survival analysis objects, failure wagons

Рассмотрены вопросы статистической оценки случайной величины – времени безотказной работы грузовых вагонов в межремонтном периоде. Для оценки использован метод анализа выживаемости объектов, с помощью которого исследуются вероятностные характеристики интервалов времени между последовательным возникновением критических событий. Цель исследования заключается в определении условных вероятностей, связанных с длительностями до момента прекращения.

Для обеспечения безопасности движения и повышения эксплуатационной надежности подвижного состава в условиях перехода на новую систему планово-предупредительного ремонта, увеличения межремонтных ресурсов грузовых вагонов необходимо не просто устранять причины нарушений безопасности, но и создавать эффективную систему предупреждения на основе глубокого анализа статистической информации об отказах.

Подобный подход необходим для создания управленческих инструментов и механизмов, которые позволят своевременно принять меры по выявлению возможных рисков и воздействовать на них до наступления отказа.

Известно, что эксплуатационная безопасность грузовых вагонов нередко определяется безотказностью. Поэтому изучение такого важнейшего показателя надежности, как безотказность является весьма актуальной задачей.

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 [2] под безотказностью понимается свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки.

В настоящей статье предложен способ оценки продолжительности безотказной работы грузовых вагонов на основе анализа выживаемости объектов [2].

Методы анализа выживаемости (Survival Analysis) первоначально были развиты в медицинских, биологических исследованиях и страховании, но затем стали широко применяться в социальных и экономических науках, а также в промышленности и инженерных задачах (анализ надежности и времен отказов).

На Западе методы анализа выживаемости (длительностей до момента прекращения) находят все большее практическое применение.

Модели, построенные на основе длительности, используются для оценки эффективно-

сти проведения различных государственных программ по проведению различных профилактических мероприятий, направленных на решение проблемных задач в Швеции, США, Германии.

В России методы анализа продолжительности до момента прекращения широко пока еще не используются, а если и используются, то исключительно в области медицины.

Представим, что изучается эффективность нового метода ремонта или применяемых деталей и материалов при ремонте. Очевидно, наиболее важной и объективной характеристикой является среднее время безотказной работы объектов после ремонта. Однако в анализируемых данных есть существенная особенность – могут найтись объекты, которые в течение всего периода наблюдения находились в работоспособном состоянии. Также может образоваться группа объектов, контакт с которыми может быть потерян до завершения эксперимента. При использовании стандартных методов оценки среднего эту группу объектов пришлось бы исключить, тем самым потеряв с трудом собранную важную информацию. К тому же большинство этих объектов является работоспособными в течение того времени, которое их наблюдали, что свидетельствует в пользу нового метода ремонта.

В методах анализа выживаемости исследуются вероятностные характеристики интервалов времени между последовательным возникновением критических событий. Такого рода исследования называются анализом длительностей до момента прекращения, которые можно определить как интервалы времени между началом наблюдения за объектом и моментом прекращения, при котором объект перестает отвечать заданным для наблюдения свойствами. Цель исследования – определение условных вероятностей, связанных с длительностями до момента прекращения.

Таким образом, методы анализа выживаемости в основном применяются к тем же статистическим задачам, что и другие методы, однако их особенность в том, что они применяются к цензурированным или, как иногда говорят, неполным данным. Отметим также, что более часто, чем обычная функция распределения, в этих методах используется так называемая функция выживаемости (в нашем случае безотказности), представляющая собой вероятность того, что объект проживет (будет работоспособен) больше времени (t).

Наиболее естественный способ описания функции безотказности в выборке – построение таблиц времени работоспособного состояния объектов. Такую таблицу можно рассматривать как «расширенную» таблицу частот. Область возможных времен наступления критических событий (отказов) разбивается на некоторое число интервалов. Для каждого интервала вычисляется число и доля объектов, которые в начале заданного интервала были работоспособны, число и доля объектов которые отказали в данном интервале, а также число и доля объектов изъятых или цензурированных в каждом интервале. Таким образом, анализ выживаемости объектов, хорошо применим к изучению времени безотказной работы грузовых вагонов в межремонтном периоде.

Таблицы времени безотказности («жизни») объектов в нашем случае были построены по следующему принципу: началом времени наблюдений за объектом является время его выпуска из планового (или непланового) ремонта, окончанием – время отцепки вагона в текущий ремонт. Соответственно за первый цикл времени безотказной работы вагона считается время от момента окончания планового ремонта до момента первой отцепки грузового вагона в текущий ремонт, второй цикл – время от момента окончания первого текущего ремонта до момента отцепки грузового вагона во второй текущий ремонт и так далее.

Анализ состояния надежности грузовых вагонов в межремонтных периодах проводился на основе данных информационной системы АБД ПВ. Массив данных по числу и времени отказов грузовых вагонов в межремонтном периоде был получен на основе справок о выполненных ремонтах «2653».

Расчет продолжительности безотказной работы грузовых вагонов был выполнен с помощью программы Statistica 6.0, непосредственно процедуры «Life tables and Distributions» и модуля «Survival Analysis».

На рисунке 1 представлена гистограмма кумулятивной доли работоспособных объектов к началу рассматриваемого периода. Поскольку вероятности работоспособности считаются независимыми на различных интервалах, эта доля равна произведению долей работоспособных объектов по всем предыдущим интервалам. Полученная доля как функция от времени называется также функцией безотказности. Функция безотказности является оценкой вероятности того, объект проработает данный интервал, Из представленной гистограммы,

видно, что через 37 дней после ремонта кумулятивная доля работоспособных объектов составляет 73% и уменьшается с каждым периодом до 50%, 35%, 23%, 15%, 11% и так далее. К концу рассматриваемого периода (через 410 дней) доля работоспособных объектов составляет всего 0,50%.

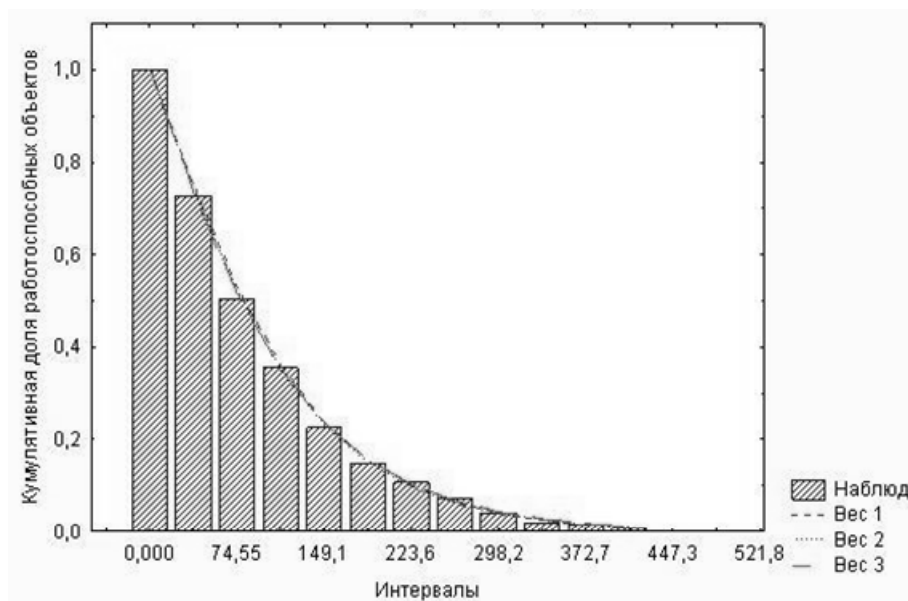


Рисунок 1 – Гистограмма кумулятивной доли работоспособных объектов от времени эксплуатации

На рисунке 2 изображена гистограмма плотности вероятности отказа. Плотность вероятностей – это оценка вероятности отказа в соответствующем интервале, определяемая по формуле

$$f_i = \frac{(P_i - P_{i+1})}{h_i},$$

где f_i – оценка плотности вероятности отказа в i -ом интервале;

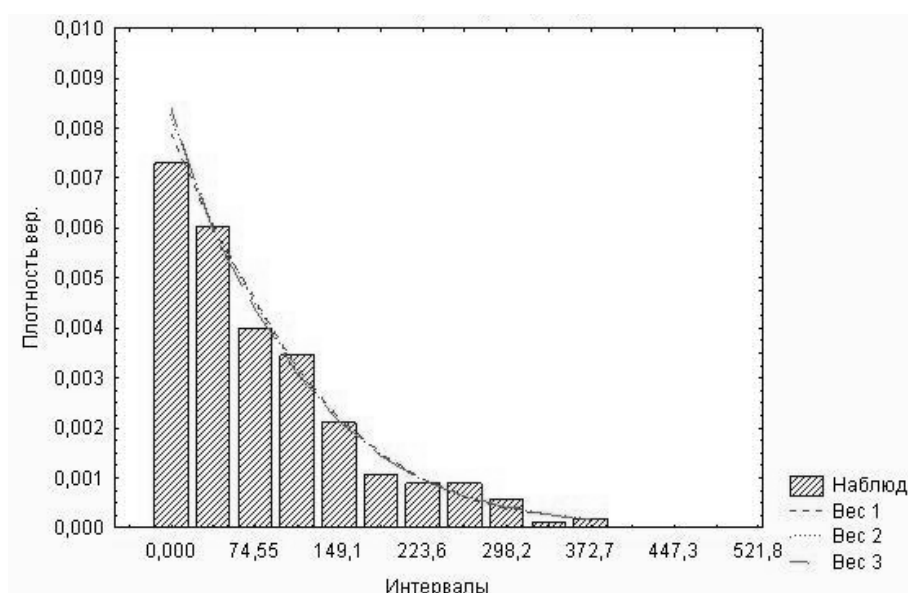


Рисунок 3 – Гистограмма плотности вероятности отказа

P_i, P_{i+1} – кумулятивные доли работоспособных объектов (функция безотказности) соответственно к началу i -го и $i+1$ интервалов;

h_i – ширина i -ого интервала;

$(P_i - P_{i+1})$ – доля отказавших объектов. Из гистограммы следует, что наибольшая вероят-

ность отказа грузовых вагонов сохраняется в течение первых 150 дней их эксплуатации после ремонта, далее уменьшение доли работоспособных объектов продолжается, но темп при этом немного замедляется.

Текущие значения функции плотности вероятности «хорошо» согласуются с теоретическими значениями распределения Вейбулла, которое определяется:

– функцией вероятности

$$P(t) = \exp\left(-\frac{tm}{t_0}\right);$$

– интенсивностью отказов

$$\lambda(t) = \frac{m}{t_0} t^{m-1};$$

– плотностью распределения

$$f(t) = \frac{m}{t_0} t^{m-1} \exp\left(-\frac{tm}{t_0}\right).$$

Анализ безотказности объектов, также можно выполнять методом множительных оценок Каплана-Мейера, в котором предложена следующая оценка функции безотказности

$$S(t) = \prod_{j=1}^t \left[\frac{n-j}{n-j+1} \right]^{\delta_j},$$

где n – общее число событий;

$\prod$ – произведение (геометрическая сумма) по всем наблюдениям, завершившимся к моменту t ;

δ – множитель показателя степени, равный 1, если j -ое наблюдение нецензурированное (законченное) и равно 0, если это наблюдение потеряно (цензурированное).

Данная оценка функции выживаемости называется еще множительной оценкой. Преимущество метода Каплана-Мейера (по сравнению с методом таблиц жизни) состоит в том, что оценки не зависят от разбиения времени наблюдения на интервалы, то есть от группировки.

На рисунке 3 представлено графическое изображение оцененной функции безотказности, из которой видно, что значение функции безотказности резко падает в течение первых 200 дней после ремонта.

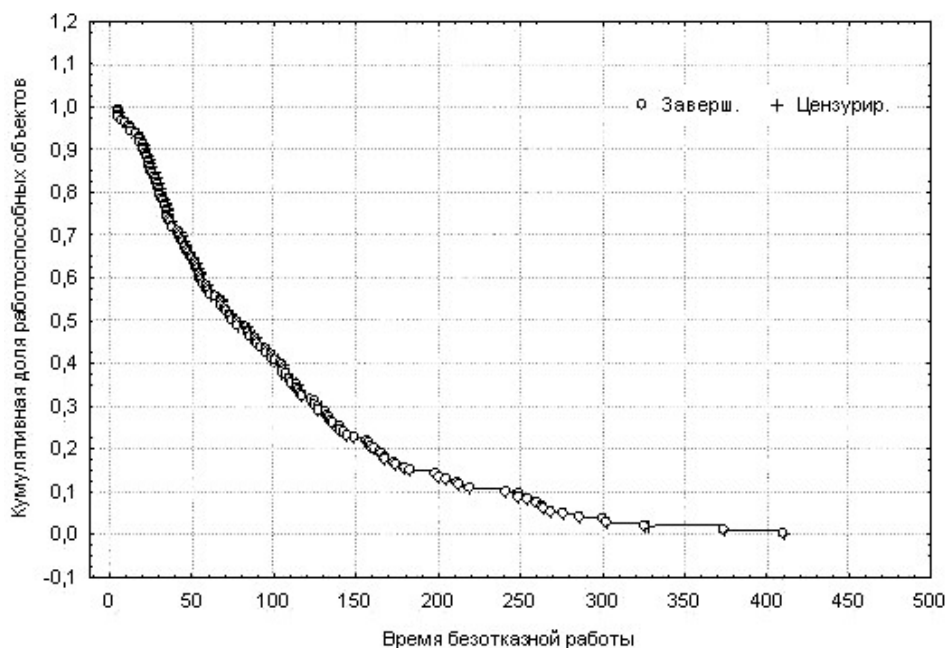


Рисунок 3 – График функции безотказности по методу множительных оценок

Определенный интерес представляет сравнение безотказной работы вагонов в нескольких группах. В нашем случае мы представляем модель динамики безотказности грузо-

вых вагонов в межремонтном периоде в зависимости от количества unplanned repairs.

Графическое изображение сравнения функции безотказности по группам наблюдений представлено на рисунке 4.

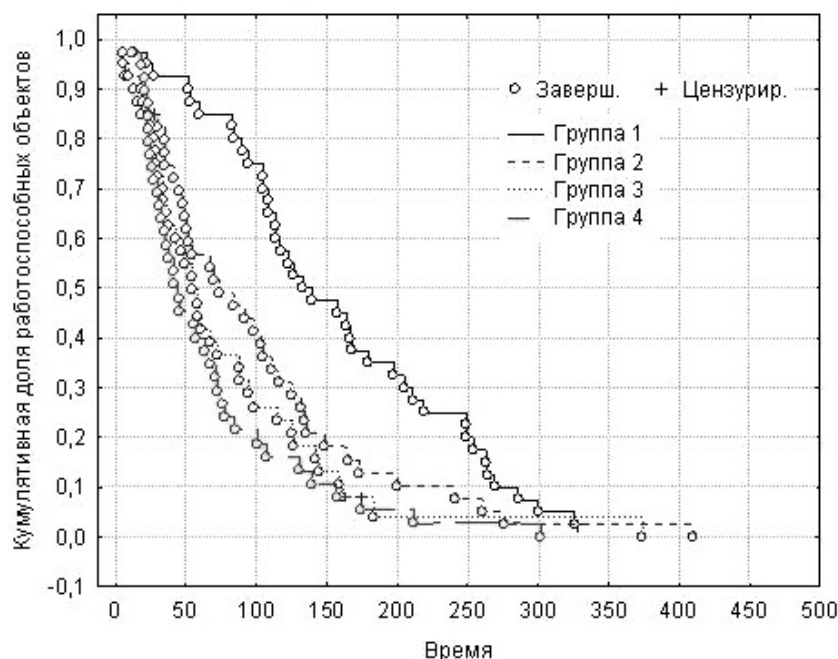


Рисунок 4 – Графики кумулятивной доли работоспособных объектов по циклам unplanned ремонта

Из рисунка 4 видно, что наибольшее время безотказной работы грузовых вагонов в межремонтном периоде наблюдается между плановым ремонтом и первым текущим ремонтом (группа 1) и имеет динамику к снижению между последующими циклами эксплуатации и unplanned repairs соответственно.

Таким образом, применение метода анализа выживаемости объектов для исследования безотказной работы грузовых вагонов, позволяет:

- определить закон распределения случайной величины – времени безотказной работы вагонов после ремонта;
- выполнить интервальное с помощью таблиц времени безотказности («жизни») и сплошное с помощью метода множительных оценок оценивание функции безотказности грузовых вагонов;
- получить оценку функции риска отказа по всей выборочной совокупности объектов;
- использовать «частичные» (цензурированные) наблюдения за объектами;
- производить оценивание функции безотказности объектов по группам исследования.

Стоит также отметить, что переход на новую систему планово-предупредительного ремонта по фактически исполненному пробегу в условиях повышения межремонтного ресурса грузовых вагонов с обеспечением гарантированной безопасности движения возможен только с одновременным внедрением мероприятий направленных на повышение качества ремонта и технического обслуживания вагонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. - М.: Изд-во стандартов, 1990. -37 с.

2 Халафян, А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных: учебник / А.А. Халафян. -3-е изд. -М.: Бинوم-Пресс, 2007. -512 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: безотказность, анализ выживаемости объектов, отказы грузовых вагонов в межремонтном периоде

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Иванова Татьяна Владимировна, канд. техн. наук, доцент ЗаБИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ИрГУПС»

Почтовый адрес: Налабордин Денис Геннадьевич, ассистент ЗаБИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ИрГУПС» 672040, г. Чита, пер. Магистральный, 11, ЗаБИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ИрГУПС»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЫТЯЖНОГО ПУТИ ПРИ РАСФОРМИРОВАНИИ СОСТАВОВ ОДИНОЧНЫМИ ИЗОЛИРОВАННЫМИ ТОЛЧКАМИ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

П.С. Бурдык

DETERMINATION OF ADMISSIBLE CONSTRUCTIONAL CHARACTERISTICS OF DRAW-OUT TRACK WHILE BREAKING UP OF STOCK BY MEANS OF SINGLE ISOLATED PUSHES

«Siberian state transport university»

P.S. Burdyak

The method of determination of draw-out track construction characteristics admissible for realization of breaking-up of stock by means of single isolated pushes technology is developed.

Keywords: isolated single pushes, push speed, simulation model, draw-out track

Разработан метод определения параметров конструкции вытяжного пути допустимых для реализации технологии расформирования составов одиночными изолированными толчками.

Правила и нормы проектирования сортировочных устройств [1] содержат достаточно широкий диапазон требований в части значений уклонов и протяженности элементов продольного профиля вытяжных путей, на которых производится расформирование составов одиночными изолированными толчками. В частности, участок вытяжного пути, примыкающий к стрелочной зоне должен располагаться на спуске крутизной до 1,5‰, а предыдущий участок длиной 350 м можно проектировать на подъеме до 2‰. Расположение этой части вытяжного пути на спуске до 1,5‰ допускается только в трудных условиях. При этом отсутствует рекомендации по определению конкретных параметров плана и продольного профиля вытяжных путей для различных условий.

Кроме того в нормативах не установлены границы скоростей выполнения толчков, а также ограничения по массе маневрового состава, тем более в зависимости от конструкции сортировочного устройства. Указано только допустимое значение скорости соударения отцепа в парке после толчка – не более 5 км/ч [2]. Очевидно, что выполнение данного условия зависит от скорости выполнения толчка, которая в свою очередь определяется с учетом потребной дальности пробега отцепа в парк.

Таким образом, задача исследования конструкции вытяжного пути при расформировании составов одиночными изолированными толчками для дифференцированных значений масс маневрового состава и скоростей выполнения толчка является актуальной.

Объектом исследования являются конструктивные параметры вытяжного пути предназначенного для расформирования составов методом одиночных изолированных толчков.

Предметом исследования являются процессы движения маневрового состава при выполнении одиночных изолированных толчков, а также процессы самостоятельного движения отцепов после толчка.

Целью исследования является определение допустимых значений конструктивных параметров вытяжного пути при расформировании составов одиночными изолированными толчками.

Технология расформирования составов одиночными изолированными толчками заключается в разгоне маневрового состава до определенной скорости (скорости толчка) и торможении состава, при котором происходит отрыв отцепленной группы вагонов и ее дальнейшее движение по инерции на путь назначения. Реализация данной технологии может иметь следующие ограничения, связанные со скоростью толчка и характеристиками движения маневрового состава и отцепа:

Ограничение 1. При высокой скорости толчка расстояние, проходимое составом при торможении, может быть больше длины стрелочной зоны. В этом случае маневровый состав при торможении останавливается в пределах полезной длины пути парка, что по своим результатам и последствиям сопоставимо с выполнением расформирования состава методом осаживания.

Ограничение 2. В отдельных случаях отцепленные группы вагонов при толчке могут не оторваться от состава или после отцепки от состава может произойти их нагон маневровым

составом при торможении, что также приведет к последующему осаживанию отцепленной группы вагонов в парк.

В данной работе ставится задача, определения допустимых границ технологии расформирования составов одиночными изолированными толчками с учетом дифференцированных значений масс расформировываемого состава и параметров вытяжного пути.

Метод решения данной задачи основывается на имитационном моделировании процессов движения маневрового состава (с локомотивом) и движения отцепа после отрыва от состава (толчка). Данная имитационная модель состоит из двух блоков:

- модель движения маневрового состава (с локомотивом), включающая разгон и торможение состава;
- модель движения отцепа после отрыва от состава (толчка).

Границей действия моделей является зафиксированная точка отрыва отцепа от состава после толчка, расположенная перед приемными стыками первой раздельной стрелки (рисунок 1).

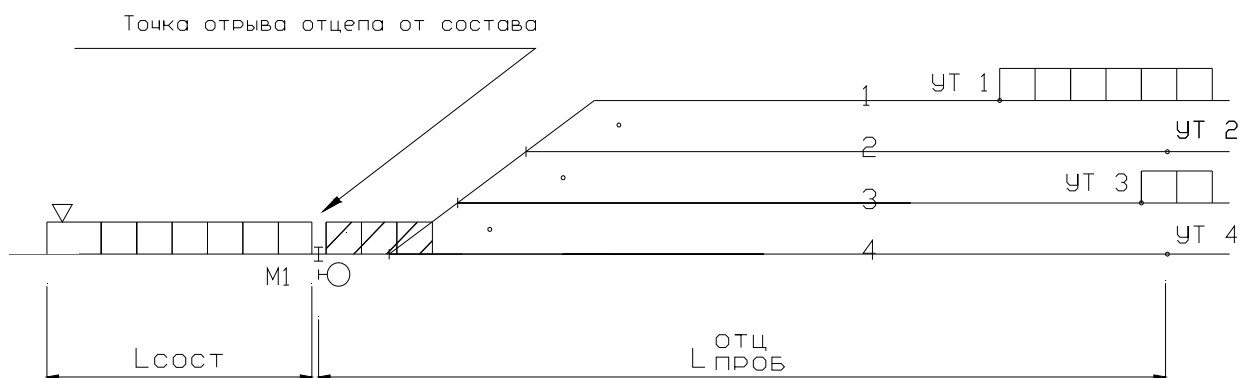


Рисунок 1 – Схема определения точки отрыва отцепа от состава на вытяжном пути в имитационной модели расформирования состава одиночными изолированными толчками ($L_{\text{сост}}$ – длина состава после выполнения толчка; $L_{\text{отц проб}}$ – необходимое расстояние пробега i -го отцепа; УТ1-УТ4-условные точки, ограничивающие свободный участок 1-4 пути, соответственно)

Имитационная модель движения маневрового состава позволяет определять параметры движения состава с учетом веса и длины состава, числа вагонов в нем на заданном плане и профиле сортировочного устройства при:

- разгоне;
- торможении и толчке отцепа;
- торможении маневрового состава;
- оттягивании состава на вытяжной путь.

Имитационная модель движения отцепа после отрыва от состава (толчка) позволяет получить данные по движению отцепа после выполнения толчка с учетом веса и длины отцепа, числа вагонов в нем, характеристик движения каждого вагона в отцепе, внешних условий, по заданному плану и профилю пути, с возможностью применения торможения. Данная модель учитывает все силы сопротивления движению отцепа, позволяет задать любую начальную и конечную скорость движения отцепа по заданному участку.

Основой имитационных моделей является шарнирно-осевая модель движения локомотива с вагонами и отцепа.

Для определения максимальной скорости выполнения толчка, с учетом ограничения 1, необходимо определить длину стрелочной зоны для каждого пути парка – $L_{\text{с.з.}i}$, которое будет ограничивать расстояние, проходимое маневровым составом при торможении. В таблице 1 представлены максимально допустимые скорости выполнения толчка для вытяжного пути, расположенного на уклоне от 2,5 до -2,5‰, значение $L_{\text{с.з.}i}$ принято равным 200 м.

Пустые ячейки в таблице 1 соответствуют условиям, при которых не обеспечивается возможность остановки маневрового состава после толчка или при его обратном движении на вытяжной путь.

Для расчета уклонов стрелочной зоны с учетом ограничения 2, определены сочетания масс маневрового состава, уклонов пути и параметров неблагоприятных метеорологических

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

условий. Расчет выполнен для отцепа, состоящего из одного вагона – плохого бегуна (расчетный вес 25 тс, основное удельное сопротивление 4 кгс/тс). Результаты имитаций скатывания плохого бегуна и торможения составов разных масс для значений уклона вытяжного пути в диапазоне от 2,5 до -2,5 ‰ приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Допустимые значения скорости выполнения толчка по ограничению 1

Масса состава, т	Уклон рассматриваемого участка пути, ‰										
	2,5	2	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5
1000	20,22	19,66	19,08	18,48	17,90	17,11	16,55	15,86	15,22	14,48	13,68
2000	17,40	16,77	16,17	15,36	14,61	13,76	12,93	12,06	11,11	10,17	9,03
3000	16,21	15,49	14,64	13,85	12,94	12,17	11,16	10,09	8,98	7,61	6,19
4000	14,89	14,65	13,84	12,97	12,11	11,05	10,01	8,84	7,53	5,94	
6000			13,26	11,95	10,98	9,87	8,70	7,25	5,56		

Таблица 2 – Значения уклонов стрелочной зоны для дифференцированных значений уклонов вытяжного пути и массы состава

Масса состава, т	Уклон вытяжного пути, ‰										
	2,5	2	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5
1000	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
2000	0	0	0	0	0	0	1	2	2,5	3	
3000	0	0	0	0	0	2	2,5	3			
4000	0	0	0	0	1	3	3				
6000	0	0	0	1	1	3					

На основании данных таблицы 2 очевидно, что диапазон допустимых уклонов стрелочной зоны должен определяться с учетом обеспечения образования интервала между маневровым составом и отцепом после толчка – Δt (рисунок 2). Пустые ячейки в таблице 2 определяют условия, для которых технология расформирования составов одиночными изолированными толчками не будет реализована.

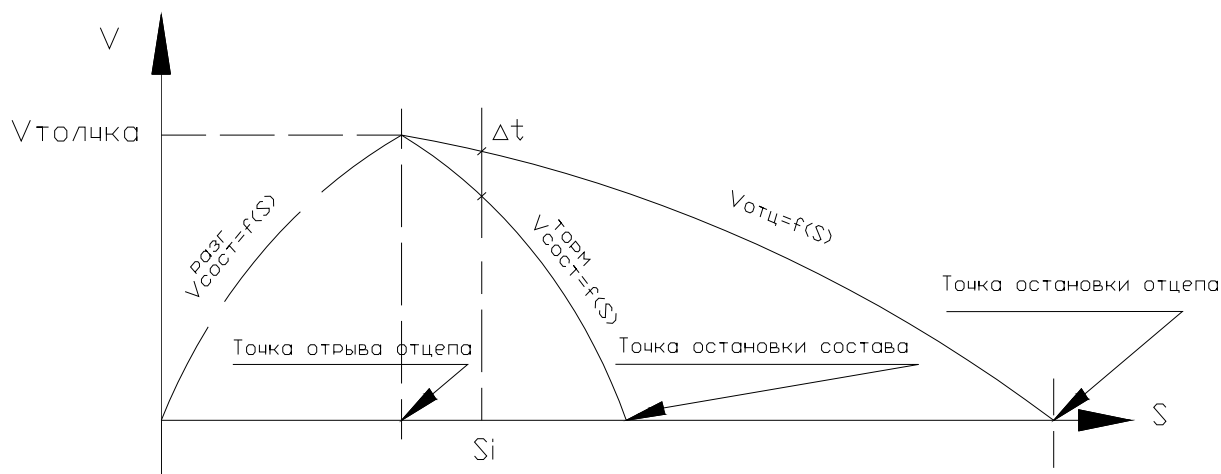


Рисунок 2 – Принципиальная схема движения маневрового состава и отцепа при образовании интервала Δt после толчка

Таким образом, для принятых условий в таблицах 1 и 2 определены допустимые границы сочетаний значений массы маневрового состава, скорости выполнения толчка, конструкции сортировочного устройства, при которых обеспечивается реализация технологии расформирования составов одиночными изолированными толчками.

На основании полученных данных можно отметить следующее:

- технология расформирования составов одиночными изолированными толчками имеет ограничения по максимальной скорости выполнения толчка и по условиям обеспечения отрыва отцепов с плохими ходовыми качествами от состава;
- наиболее рациональным будет расположение вытяжного пути на подъеме, что обеспечит минимальные расстояния на разгон торможение состава при толчке, возможность реализовывать максимальные скорости толчка и исключать случаи захода маневрового со-

става в пределы полезной длины пути парка при торможении;

– для любых условий можно определить допустимые границы уклонов и длин элементов продольного профиля вытяжного пути, обеспечивающих возможность реализации технологии расформирования составов одиночными изолированными толчками.

Конечные параметры вытяжного пути следует определять в установленных допустимых границах с учетом деления маневрового состава на части по критерию минимума эксплуатационных расходов на расформирование всего состава. Выбор оптимальных конструктивных параметров вытяжного пути должен производиться в комплексе с оптимизацией параметров стрелочной зоны и парка на основании сравнения различных вариантов конструкции по критерию минимума приведенных расходов, что является отдельной исследовательской задачей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм / М-во путей сообщения Рос. Федерации. -М.: Техинформ, 2003. -168 с.

2 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации / М-во путей сообщения Рос. Федерации. -М.: Техинформ, 2000. -189 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *изолированные одиночные толчки, скорость толчка, имитационная модель, вытяжной путь*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Бурдяк Павел Станиславович, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*

ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ДИНАМИКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОПЕРАТОРА

Челябинское высшее военное автомобильное командно-инженерное училище (военный институт) им. П.А. Ротмистрова, филиал ФГОУ ВПО «Военный учебно-научный центр Сухопутных войск «Общевойсковая академия Вооружённых Сил Российской Федерации»

Д.В. Нефедов, Д.Ю. Фадеев

STUDYING OF FUNCTIONING OF THE ROBOTISED MEANS OF MAINTENANCE OF MOBILITY FOR THE PURPOSE OF REVEALING OF DYNAMICS OF WORKING CAPACITY OF THE OPERATOR

Chelyabinsk higher military automotive command engineering college (military institute) named P.A. Rotmistrov, branch Federal state of military educational institution of higher education «Military training and scientific center of land forces' combined «Military academy of the armed forces of the Russian Federation»

D.V. Nefedov, D.Yu. Fadeev

In article problems of definition of productivity of system «person-car» are considered. The mathematical model of productivity with reference to the robotised systems of maintenance of mobility is offered.

Keywords: *the robot, mathematical model, mobility maintenance*

Рассмотрены проблемы определения производительности системы «человек-машина». Предложена математическая модель производительности применительно к роботизированным системам обеспечения подвижности.

Изучение функционирования роботизированных средств обеспечения подвижности (РСОП) с целью выявления динамики работоспособности оператора связано с возникающей проблемой проектной производительности системы «человек-машина». Для решения данной проблемы воспользуемся эволюционным (процессуальным) представлением. Основная цель данного представления выявление характера изменения производительности РСОП в различные моменты времени его работы t . При этом параметры технической системы C_m, Y_i , характеристики внешних условий G_i , факторы рабочей среды Z_k и мотив M являются фиксированными величинами и функцию производительности следует определять в виде

$$W(t) = F(Q_n; X_i; t), \quad (1)$$

при

$$C_m; Y_i; G_1; M; Z_k = \text{Const.}$$

Следует отметить, что характеристики режима работы Q_n обеспечивают адаптацию технической системы к заданным условиям работы. Для большинства видов операций условия в пределах одного цикла изменяются в небольшом диапазоне, не требующем дополнительной настройки технической системы. Таким образом, технологические режимы можно считать постоянными ($Q_{\text{техн}} = \text{Const}$). Скоростные режимы $Q_{\text{скор}}$ обеспечивают поступление информационного материала и в процессе выполнения операционного цикла выступают в качестве регулируемого параметра ($Q_{\text{скор}} = \text{Var}$). Оператор вынужден одновременно контролировать и регулировать траекторию движения и поток информационного материала.

Характеристики оператора в течение смены изменяются в зависимости от сложности возникающих задач, технической системы, факторов внешней среды, индивидуальными характеристиками и в определенной степени определяются состоянием оператора в начальный момент времени. Это проявляется в изменении времени выполнения исполнительных действий и отражается в изменении составляющих баланса времени цикла. Изменение совокупности показателей состояния оператора происходит из-за изменения внутренних процессов и приводит к изменению его работоспособности и как следствие, происходит изменение производительности $W(t)$.

Изменение производительности $W(t)$ предопределяется закономерностью изменения производной $dw(t)/dt$. Скорость изменения производительности является результатом двух внутренних процессов, происходящих в операторе.

С одной стороны, существуют факторы, стимулирующие рост производительности (поощрения, заинтересованность, материальное стимулирование, мотив как фактор самовыражения и др.) Эту тенденцию будем оценивать функцией стимула $q^+(x)$. Знак «плюс» отмечает тенденцию роста скорости изменения производительности. С другой стороны, по мере накопления усталости увеличивается влияние факторов тормозящих протекание психофизиологических процессов и способствующих снижению скоростных характеристик оператора. Отмеченные процессы приводят к снижению производительности. Данную тенденцию будем оценивать функцией $f(\bar{x})$.

Отмеченные два процесса $q^+(x)$ и $f(\bar{x})$ протекают одновременно и влияют друг от друга. Первый процесс, характеризующийся ростом производительности $q^+(x)$, определяется мотивом, направленным на достижение (выполнение поставленной задачи) [1]. При этом мотив рассматривается как внутреннее побуждение человека к данной деятельности, сформированное потребностями личности, мировоззрения, убеждения, идеалами и интересами личности, социальной ролью и установками. Факторы, определяющие мотив деятельности определяются в основном внешними идейно-личностными факторами.

Второй процесс $f(\bar{x})$ определяется внутренними психофизиологическими факторами и индивидуальными особенностями организма. При одновременном воздействии факторов, влияющих на динамику работоспособности, дифференциальная модель производительности может быть представлена в виде

$$\frac{dw}{dt} = q^+(x) f(\bar{x}). \quad (2)$$

Данный вид модели основан на предположении совместного влияния отмеченных процессов.

Вид функции $q^+(x)$ определим на основе следующих предпосылок. Результат производительности оценивается объемом выполненных задач. Это основа для оценки результата, удовлетворенности и самоутверждения.

Динамику прироста выполненного объема задач оценивает функция производительности $W(t)$. Активация мотива труда, приводящая к изменению производительности, достигается за счет весомости стимула. Зависимость производительности от уровня мотивации представляет нелинейную функцию и представлена общей закономерностью [2] (рисунок 1).

При увеличении стимула от A_1 до A_2 происходит резкий рост производительности ΔW_1 . При достижении максимального значения активации $A_{\text{кр}}$ дальнейшее увеличение стимула не

дает положительного эффекта. Для значений активации $A < A_{кр}$ можно предположить рост производительности пропорциональным относительно увеличения стимула A .

При выполнении поставленной задачи в качестве стимула, определяющего рост производительности, выступает система мотивации, основанная на нормативном показателе W_0 .

Тогда относительный прирост W очевидно можно принять пропорциональным производительности

$$q^+(x) = kW, \quad (3)$$

где k – коэффициент пропорциональности, характеризующий чувствительность оператора к стимулу.

Если $k > 0$, то это соответствует положительному росту производительности, при $k = 0$ – стимулирование не влияет на производительность, а при $k < 0$ – происходит снижение производительности из-за недостаточного действия стимула для выполнения норматива или преобладает другая целевая установка (точность вождения).

Функцию представим в виде

$$f(\bar{x}) = B - AWt, \quad (4)$$

где B, A – численные коэффициенты модели.

Коэффициент B оценивает уровень начальной работоспособности. Окончательный вид модели получим подстановку выражения (3) и (4) в (2)

$$\frac{dW}{dt} = kW(B - AWt). \quad (5)$$

После раскрытия скобок уравнение (5) примет вид

$$\frac{dW}{dt} = kBW - kAW^2t. \quad (6)$$

Обозначив $\alpha = kA$; $\beta = kB$, получим

$$\frac{dW}{dt} = \beta W - \alpha W^2t. \quad (7)$$

Полученное выражение имеет вид уравнения Бернулли 2-го порядка [3]. Данное уравнение приводим к линейному виду путем подстановки. Для этого делим его на W^2

$$\frac{1}{W} \frac{dW}{dt} = \beta \frac{1}{W} - \alpha t. \quad (8)$$

Введем функцию $Z = \frac{1}{W}$. Тогда $\frac{dZ}{dt} = -\frac{1}{W^2} \frac{dW}{dt}$ и уравнение (8) примет вид

$$\frac{dZ}{dt} + \beta Z = \alpha t. \quad (9)$$

В ходе преобразований получим неоднородное уравнение первого порядка с неизвестной функцией Z . Проинтегрируем уравнение (9) методом вариации произвольной постоянной и найдем Z как функцию от W . Для этого решим сначала соответствующее ему однородное уравнение

$$\frac{dZ}{dt} + \beta Z = 0 \text{ или } \frac{dZ}{dt} = -\beta Z. \quad (10)$$

Разделим обе части на Z и умножим на dt , а затем проинтегрируем полученное уравнение

$$\ln Z = -\beta t + \ln C \text{ или } Z = C \exp(-\beta t). \quad (11)$$

Произвольное постоянное $C(w)$ представляет собой некоторую функцию. Для того, чтобы получить решение уравнения (9) необходимо подобрать функцию $C(w)$. Для этого вычислим производную функции Z (11)

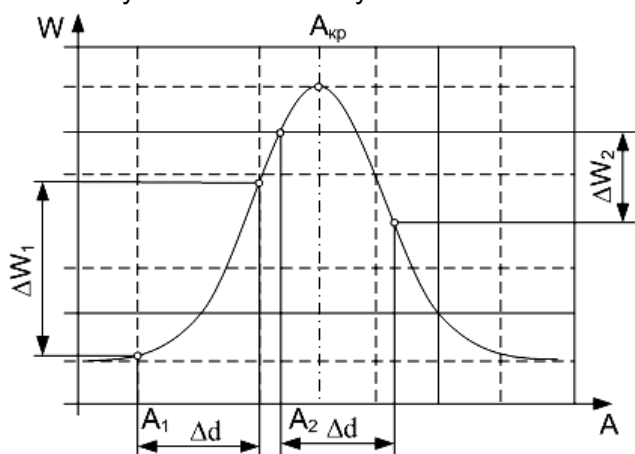


Рисунок 1 – Зависимость продуктивности деятельности от уровня активации

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{dC(w)}{dt} \exp(-\beta t) - \beta C(w) \exp(-\beta t), \quad (12)$$

далее подставим $\frac{dZ}{dt}$ и Z в (9)

$$\frac{dC(w)}{dt} \exp(-\beta t) - \beta C(w) \exp(-\beta t) + \beta C(w) \exp(-\beta t) = \alpha t. \quad (13)$$

После преобразования получим

$$\frac{dC(w)}{dt} \exp(-\beta t) = \alpha t. \quad (14)$$

Решение уравнения (14) позволяет получить

$$C(w) = \int \alpha t \exp(\beta \cdot t) dt.$$

Заменяя $x = \beta t$, ($dx = \beta dt$) подставим в уравнение (14)

$$C(w) = \frac{\alpha}{\beta^2} \int x \exp(x) dx.$$

Определим интеграл методом интегрирования по частям [2]

$$C(w) = \frac{\alpha}{\beta^2} [(x-1)\exp(x) + C_2] + C_1, \quad (15)$$

где C_1, C_2 – константы интегрирования.

Подставив вместо $x = \beta t$, получим

$$C(w) = \frac{\alpha}{\beta^2} [(\beta t - 1)\exp(\beta t) + C_2] + C_1. \quad (16)$$

Полученное выражение для $C(w)$ подставим в уравнение (12)

$$Z = \exp(-\beta t) \cdot \left\{ \frac{\alpha}{\beta^2} [(\beta t - 1)\exp(\beta t) + C_2] + C_1 \right\}. \quad (17)$$

Константы интегрирования C_1 и C_2 определим из начальных условий. При $t = 0$ значение $Z = Z_0 = C_1$; $C_2 = 1$.

Подставим Z, C_1 и C_2 в уравнение (17)

$$\frac{1}{W} = \exp(-\beta t) \cdot \left\{ \frac{\alpha}{\beta^2} [(\beta t - 1)\exp(\beta t) + 1] + \frac{1}{W_0} \right\}. \quad (18)$$

Путем дальнейших преобразований получим

$$W = \frac{W_0 \cdot \beta^2 \cdot e^{\beta t}}{\alpha \cdot W_0 \cdot [(\beta \cdot t - 1) \cdot e^{\beta t} + 1] + \beta^2}, \quad (19)$$

или с учетом принятых обозначений

$$W = \frac{W_0 \cdot k \cdot B^2 \cdot e^{k \cdot B \cdot t}}{A \cdot W_0 \cdot [e^{k \cdot B \cdot t} (k \cdot B \cdot t - 1) + 1] + k \cdot B^2}. \quad (20)$$

Уравнение (20) представляет собой решение дифференциальной модели производительности. При $k > 0$, $B > 0$ и $A > 0$ зависимость производительности от времени имеет явно выраженный максимум (рисунок 2).

Рассмотрим характер изменения производительности (20) в зависимости от значений коэффициентов k, A и B .

Производительность достигает наибольшего значения $W_{\max}$ при $\frac{dW}{dt} = 0$, что возможно

при $W_{\max} \cdot t_{W_{\max}} = \frac{B}{A}$. При $t = 0$ производительность принимает начальное значение W_0 , а при $t \rightarrow \infty; W \rightarrow 0$.

При $B = 0$ уравнение (6) примет вид

$$W = \frac{2W_0}{2 - k \cdot A \cdot W_0 \cdot t^2}. \quad (21)$$

График полученной функции представлен на рисунке 3.

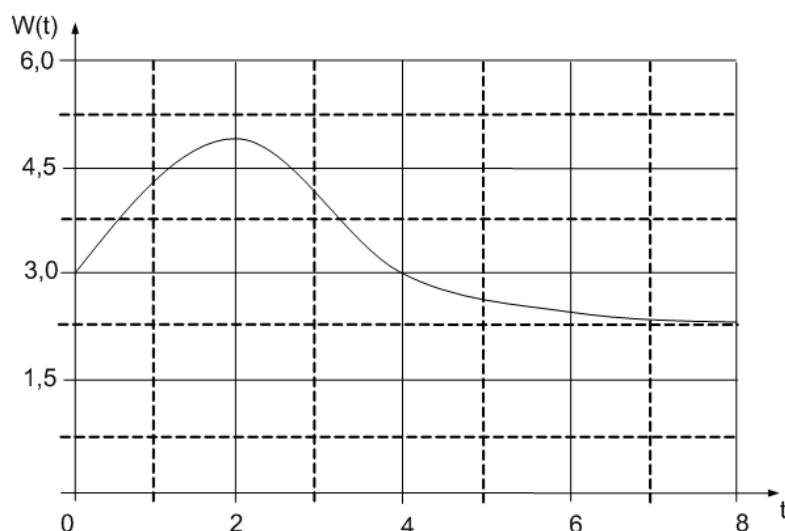


Рисунок 2 – Зависимость производительности от времени

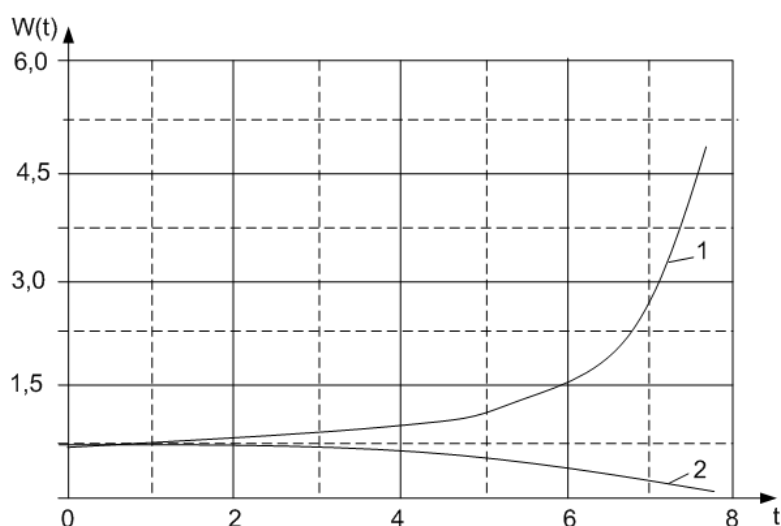


Рисунок 3 – Зависимость производительности от времени при $B = 0$; $A > 0$; $1 - k > 0$; $2 - k < 0$

В зависимости от значения коэффициента k график функции (21) может возрастать или уменьшаться. При $k > 0$ производительность будет расти, а при $k < 0$ уменьшаться.

Таким образом, учет взаимного влияния изложенных факторов в представленной модели помимо определения производительности РСОР дает возможность проектировать системы «человек-машина» с учетом динамики изменения работоспособности оператора в течение рабочего времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кравченко, Р.Г. Автоматизированная система управления в сельском хозяйстве / Р.Г. Кравченко. -М.: Колос, 1975. -78 с.
- 2 Кульбак, С.В. Теория информации и статистика / С.В. Кульбак; пер. с англ. Д.И. Гордеева, А.В. Прохорова; под ред. А.Н. Колмогорова. -М.: Наука, 1967. -408 с.
- 3 Кутьков, Г.М. Технологические основы и тяговая динамика мобильных энергетических средств / Г.М. Кутьков. -М.: МГАУ, 1992. -154 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: робот, математическая модель, обеспечение подвижности

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Нефедов Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент ЧВВАКИУ, филиал ФГОУ ВПО «ВУНЦСВ» «ОАВСРФ»

Почтовый адрес: Фадеев Дмитрий Юрьевич, адъюнкт ЧВВАКИУ, филиал ФГОУ ВПО «ВУНЦСВ» «ОАВСРФ»
454029, г. Челябинск, пр. Победы, 187, ЧВВАКИУ, филиал ФГОУ ВПО «ВУНЦСВ» «ОАВСРФ»

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННОГО ПОДВИЖНОГО МОДУЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

Челябинское высшее военное автомобильное командно-инженерное училище (военный институт) им. П.А. Ротмистрова, филиал ФГОУ ВПО «Военный учебно-научный центр Сухопутных войск «Общевойсковая академия Вооружённых Сил Российской Федерации»

Д.В. Нефедов, Д.Ю. Фадеев

CONTROL SYSTEM OF MOVEMENT OF THE ROBOTISED MOBILE MODULE WITH USE OF CAPACITOR STORES OF ENERGY
Chelyabinsk higher military automotive command engineering college (military institute) named P.A. Rotmistrov, branch Federal state of military educational institution of higher education «Military training and scientific center of land forces' combined «Military academy of the armed forces of the Russian Federation»

D.V. Nefedov, D.Yu. Fadeev

In article the scheme of an automatic control system is offered by the traction engine of the robotised mobile module at use of the capacitor store of energy.

Keywords: managements, the capacitor store, traction the engine

Предложена схема автоматической системы управления тяговым двигателем роботизированного подвижного модуля при использовании емкостного накопителя энергии.

Эффективность применения емкостного накопителя в силовой цепи с тягового двигателя (ТД) определяется схемой коммутации электрических машин, структурой, параметрами и алгоритмом функционирования системы управления. На основе проведенных исследований разработаны технические предложения по организации автоматической системы управления движением роботизированного подвижного модуля (РПМ) с использованием емкостных накопителей [1, 2].

Комплексная функциональная схема системы управления движением РПМ представлена на рисунке 1.

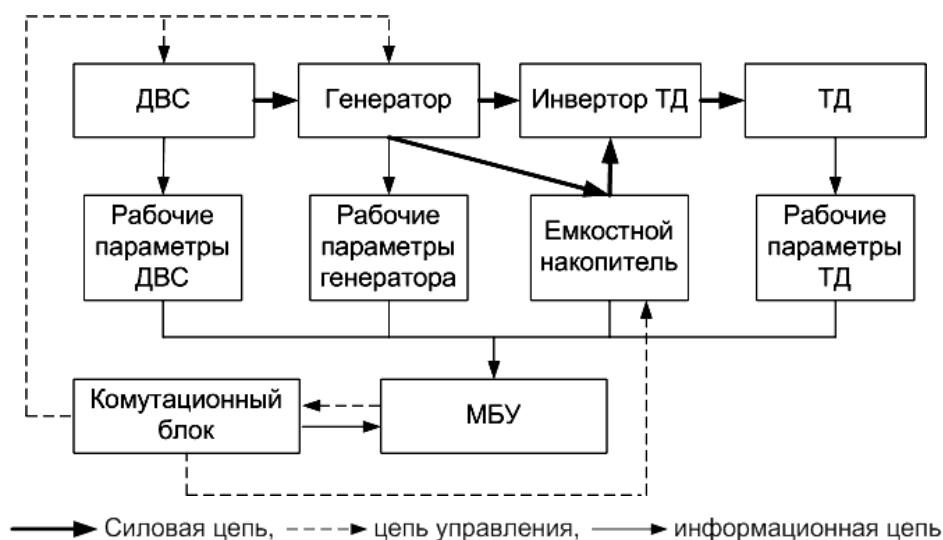


Рисунок 1 – Принципиальная схема системы управления движением РПМ

Данная схема характеризует взаимодействие элементов системы управления как с аккумулятором, так и с бензоэлектрическим агрегатом при использовании емкостного накопителя.

Особенность предлагаемой схемы заключается в установке блока коммутации, предназначенного для переключения емкостного накопителя энергии на заряд или разряд по команде микропроцессорного блока управления (МБУ) в зависимости от режима работы электропривода и изменения направления и величины напряжения и тока на тяговом двигателе.

Автоматическая система управления РПМ, содержащая микропроцессорный блок управления, блок коммутации, датчики и аппаратуру, информирующую о состоянии и режи-

мах работы систем, агрегатов модуля, исполнительные элементы, обеспечивает запуск двигателя внутреннего сгорания (ДВС), разгон, движение с постоянной скоростью (режим стабилизации скорости), повороты и торможение машины.

Блок коммутации в совокупности с микропроцессорным блоком управления осуществляет подключение накопителя: на разряд при провалах напряжения на ТД а также при разгонах машины в качестве дополнительного запаса энергии; на заряд от генератора при торможении тягового двигателя в режиме рекуперации.

После запуска двигателя в зависимости от степени заряженности емкостной накопитель энергии по команде микропроцессорного блока управления может быть подключен на заряд, осуществляемый с помощью зарядного устройства. По мере заряда емкостной накопитель энергии отключается от зарядного устройства блоком коммутации по команде микропроцессорного блока. Состояние емкостного накопителя определяется в результате обработки сигналов датчиков, поступающих в микропроцессорный блок управления.

При разгоне, увеличении нагрузки, работе ТД на режимах максимальной мощности, поворотах в тяжелых условиях местности автоматическая система управления по мере необходимости параллельно с генератором осуществляет подключение к ТД емкостного накопителя, используя его в качестве дополнительного запаса энергии. Это позволит повысить крутящий момент на ведущих колесах модуля и снизить ток нагрузки I_r генератора обеспечивая улучшение тягово-динамических свойств РПМ

$$I_{эд} = I_r + I_{ен}, \quad (1)$$

где $I_{эд}$ – ток нагрузки ТД;

$I_{ен}$ – ток емкостного накопителя.

При этом подводимая к ТД мощность равна сумме мощностей, развиваемых генератором P_g и емкостным накопителем $P_{ен}$

$$P_{эд} = P_g + P_{ен}. \quad (2)$$

В процессе торможения модуля электродинамическим способом энергия, вырабатываемая ТД, при переходе в генераторный режим, запасается емкостными накопителями с целью дальнейшего ее использования.

В качестве примера рассмотрим прямолинейное движение модуля, описываемое уравнением [1, 2]

$$m \frac{dv}{dt} = F_m - F_c, \quad (3)$$

где m – масса модуля;

dv/dt – ускорение движения модуля;

F_T – сила тяги, обеспечивающая движение модуля,

$$F_T = \frac{M_{ек}}{r_{ек}} = \frac{M_{эд} \cdot i_{ред} \cdot \eta_{ред}}{r_{ек}};$$

$M_{ек}$ – момент на ведущем колесе;

$r_{ек}$ – радиус ведущего колеса;

$M_{эд}$ – момент на валу тягового электродвигателя;

$i_{ред}$ – передаточное число редуктора;

$\eta_{ред}$ – КПД редуктора;

F_c – сила сопротивления движению,

$$F_c = f_c G_m;$$

G_m – вес модуля;

f_c – суммарный коэффициент сопротивления движению.

Решив уравнение (3) относительно момента $M_{эд}$, получим

$$M_{эд} = \frac{r_{ек}}{i_{ред} \eta_{ред}} \left(m \frac{dv}{dt} + f_c G_m \right). \quad (4)$$

Момент на валу ТД также может быть описан выражением [1]

$$M_{эд} = c_m \Phi I_{эд}, \quad (5)$$

где c_m – коэффициент пропорциональности, постоянный для данной электрической ма-

шины;

Φ – магнитный поток электродвигателя.

С учетом уравнений (4) и (5) запишем выражение для тока нагрузки $I_{эд}$, необходимого для реализации требуемого режима движения РПМ в заданных внешних условиях

$$I_{эд} = \frac{r_{ек}}{i_{ред} \eta_{ред} c_m \Phi} \left(m \frac{dv}{dt} - f_c G_M \right). \quad (6)$$

Требования к емкости накопителя определяются объемом энергии, вырабатываемой ТД в процессе торможения и используемой в дальнейшем для реализации высоких тягово-динамических свойств РПМ и минимизации мощности генератора либо аккумулятора. Вследствие этого при разработке систем управления с емкостным накопителем энергии необходимо обосновать емкость накопителя $C_{ен}$, обеспечивающего, с одной стороны, возможность его заряда за счет энергии, вырабатываемой при рекуперации, а с другой – сохранение требуемых тягово-динамических свойств модуля при использовании генератора пониженной мощности.

Соотношение мощности генератора и емкости накопителя, обеспечивающее требуемый уровень тягово-динамических свойств РПМ в заданных внешних условиях движения для случая $dv/dt > 0$ определяется выражением (2) или с учетом формул изложенных в модели [2]:

$$P_a = \frac{r_{ек} U_{эд}}{i_{ред} \eta_{ред} c_m \Phi} \left(m \frac{dv}{dt} + f_c G_M \right) - \frac{U^2}{(R_{ц} + R_{ен})} \exp \left[-\frac{2t_p}{C_{ен} (R_{ц} + R_{ен})} \right], \quad (7)$$

где $U_{эд}$ – напряжение на выводах ТД в генераторном режиме;

U – конечное напряжение на выводах накопителя;

$R_{ц}$ – эквивалентное сопротивление цепи тягового электродвигателя;

$R_{ен}$ – сопротивление емкостного накопителя;

t_p – время разгона модуля.

На режимах торможения при $dv/dt < 0$ емкостный накопитель энергии подключается к сети, обеспечивая использование энергии рекуперации, вырабатываемой электроприводами при торможении модуля, за счет ее аккумуляирования. При этом с учетом формул, приведенных в [2] выражение (2) принимает вид:

$$P_a = \frac{U^2}{(R_{ц} + R_{ен})} \left[\exp \left(-\frac{t_T}{C_{ен} (R_{ц} + R_{ен})} \right) \right] \left[1 - \exp \left(-\frac{t_T}{C_{ен} (R_{ц} + R_{ен})} \right) \right] - \left(\frac{C_E \Phi v i_{ред}}{2\pi r_{ек}} - U_{д} \right) \frac{U_{д}}{R_a}, \quad (8)$$

где t_T – время торможения модуля;

C_E – коэффициент пропорциональности, постоянный для данной электрической машины.

В случае равномерного движения, когда $dv/dt = 0$, и работе генератора с ТД на частичных характеристиках (при движении РПМ с неполной нагрузкой на генератор) питание электроприводов и заряд накопителей осуществляется от генератора:

$$P_a = \frac{r_{ек} U_{эд}}{i_{ред} \eta_{ред} c_m \Phi} f_c G_M + \frac{U^2}{(R_{ц} + R_{ен})} \left[\exp \left(-\frac{t_3}{C_{ен} (R_{ц} + R_{ен})} \right) \right] \left[1 - \exp \left(-\frac{t_3}{C_{ен} (R_{ц} + R_{ен})} \right) \right], \quad (9)$$

где t_3 – время заряда накопителя.

Таким образом, можно сделать вывод, что предложенная схема системы управления движением РПМ, в основу которой положено использование емкостного накопителя энергии, позволяет:

- повысить эффективность использования электрической энергии затрачиваемой для движения РПМ, за счет рекуперации;
- улучшить динамические свойства РПМ, за счет совершенствования системы управления ТД.

Кроме того, математическая модель предлагаемой системы управления тяговым двигателем с емкостным накопителем энергии, позволяет получить характеристики изменения направления и величины напряжения и тока на тяговом двигателе роботизированного подвижного модуля и может быть использована для оценки параметров эффективности РПМ

как объекта управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Микропроцессоры: учебник. В 3 т. Т.1 / под ред. П.В. Нестерова. -М.: Высш. шк., 1986. - 338 с.

2 Нефедов, Д.В. Роботизированные средства подвижности вооружения, эффективность функционирования: монография / Д.В. Нефедов. -Челябинск: Изд-во ЧВВАКИУ, 2009. -215 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система управления, емкостный накопитель, тяговый двигатель

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Нефедов Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент ЧВВАКИУ, филиал ФГОУ ВПО «ВУНЦСВ«ОАВСРФ»

Почтовый адрес: Фадеев Дмитрий Юрьевич, адъюнкт ЧВВАКИУ, филиал ФГОУ ВПО «ВУНЦСВ«ОАВСРФ» 454029, г. Челябинск, пр. Победы, 187, ЧВВАКИУ, филиал ФГОУ ВПО «ВУНЦСВ«ОАВСРФ»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

А.В. Распутин

INCREASE OF EFFICIENCY OF CONSTRUCTION OF A TRANSPORT INFRASTRUCTURE

«Irkutsk state transport university»

A.V. Rasputin

To one of sources of financing of construction of a transport infrastructure can become CPIF. The algorithm of calculation of the rates attractive to the investor is considered in article.

Keywords: construction of the transport infrastructure, the average cost of the capital

Одним из источников финансирования строительства транспортной инфраструктуры могут стать ЗПИФ. Алгоритм расчета ставок, привлекательных для инвестора, рассмотрен в статье.

Развитие инфраструктуры транспорта, в том числе дорожной сети – одно из приоритетных направлений развития Сибирского федерального округа. При этом в стратегиях развития округа и регионов источником строительства являются в основном средства частных инвесторов. Очевидно, что такое строительство очень затратно, и один инвестор не сможет профинансировать один объект. Для этого необходимо привлекать коллективные формы инвестирования, одним из источников финансирования строительства транспортной инфраструктуры могут стать ЗПИФ.

Рассматривая закрытые фонды как источник финансирования строительства транспортной инфраструктуры необходимо понимать, что в зависимости от момента привлечения средств отличаются и условия привлечения. К основным источникам привлечения средств до получения разрешения на строительство относятся собственные средства, средства стороннего инвестора, облигационные займы и дополнительная эмиссия акций. После получения разрешения этот список расширяется за счет средств рынка и кредитных средств. Конструкция закрытого фонда может быть применена на любой стадии проекта, что очень важно, и зависит лишь от принципиальной позиции инвесторов, их отношения к риску.

Привлечение средств для возведения объектов транспортной инфраструктуры через фонды может дать определенные бонусы застройщикам, которых нет у традиционного банковского кредитования (как например для строительства жилья). Однако механизм финансирования строительства через закрытые ПИФы в итоге оказывается дороже традиционного банковского кредитования, которое в среднем в докризисный период обходилось в 10-15% годовых, а сейчас доходит до 25%.

При создании фонда традиционная ставка доходности паев составляла 15-20% годовых, если основным пайщиком является институциональный (квалифицированный) инвестор. На текущий момент требования данной категории инвесторов фактически не изменились, поскольку приоритет здесь отдается надежности вложений. В случае же если основными вкладчиками являются частные инвесторы, приемлемый размер доходности для них составляет от 20-25% в год при приемлемых рисках.

Следует, однако, отметить, что параметры «риск» и «доходность» при оценке эффективности инвестиций в фонды использовать не совсем корректно. Но, по оценкам специалистов, паи закрытых фондов по шкале риска находятся между банковскими депозитами и финансовыми инструментами надежных эмитентов. Разные управляющие компании по своим различным проектам прогнозируют рублевую доходность от 12% до 40% в год. Логично, что о работе фонда недвижимости корректно судить лишь после закрытия паев.

Это и является одной из основных причин низкой привлекательности закрытых фондов для частных и небольшого количества существующих фондов. Инвестор имеет только приблизительное понимание того, какой доходностью будут обладать вложенные средства, а информация о реальном положении дел может быть получена только после закрытия фонда. Кроме того, инвестор не может продать свой пай до завершения фонда.

Логичным решением было бы установление фиксированной ставки доходности по паям, по которой бы проводились предварительные выплаты, либо погашение пая до момента завершения фонда. Это позволило бы инвесторам в случае необходимости выйти из фонда до его закрытия и при этом сохранить и преумножить вложенные средства.

Тогда возникает другой вопрос – «Какую устанавливать доходность для пая?» Здесь автором предлагается использовать формулу, обратную используемой для расчета средневзвешенной стоимости капитала.

Средневзвешенная стоимость капитала (Weighted Average Cost of Capital (WACC) – является показателем, характеризующим стоимость капитала так же, как ставка банковского процента характеризует стоимость привлечения кредита. Отличие WACC от банковской ставки заключается в том, что этот показатель не подразумевает равномерных выплат, вместо этого требуется, чтобы суммарный приведенный доход инвестора был таким же, какой обеспечила бы равномерная выплата процентов по ставке, равной WACC.

Средневзвешенная стоимость капитала может быть рассчитана как

$$WACC = W_s C_s + W_d C_d (100\% - T),$$

где W – доля собственного капитала, %;

W_d – доля заемного капитала, %;

C_s – стоимость собственного капитала, или требуемая или ожидаемая доходность от собственного капитала, %;

C_d – стоимость заемного капитала, или требуемая или ожидаемая доходность от заемного капитала, %;

T – ставка налога на прибыль, %.

Это уравнение описывает ситуацию для однородных собственного и заемного капитала. Если в капитале присутствуют привилегированные акции со своей стоимостью, различные виды заемного капитала (каждый со своей стоимостью), то формула будет включать дополнительные слагаемые для каждого источника капитала.

Применительно к закрытым фондам расчет средневзвешенной стоимости капитала позволяет девелоперу, исходя из необходимой прибыльности деятельности, рассчитать допустимую доходность по паям при привлечении средств частных инвесторов в фонды.

Так в случае, когда источником финансирования инфраструктурного строительства являются собственные средства и средства фонда, формула для расчета доходности пая (здесь – стоимости заемного капитала) будет выглядеть так

$$C_p = \frac{WACC - W_s C_s}{W_p (100\% - T)},$$

где C_p – требуемая доходность пая, %.

W_p – доля средств, привлеченных с помощью фонда, %;

В случае, когда используются иные источники заемного капитала (например, банковские кредиты), формула просто начинает включать в себя дополнительные компоненты

$$C_p = \frac{WACC - W_s C_s - (W_{d1} C_{d1} + \dots + W_{dn} C_{dn}) (100\% - T)}{W_p (100\% - T)}.$$

Расчет требуемой средневзвешенной стоимости капитала (WACC) при этом можно провести исходя данных о стоимости строительства, цены реализации и нормы прибыли установленной компанией, либо исходя из требуемой доходности собственного капитала.

Рассмотрим пример, когда девелоперу для строительства небольшого проекта требует-

ся 100 млн. руб. Объем собственных средств, которым он обладает, 30 млн. руб., максимальный объем банковского кредита, который он может привлечь – 40 млн. руб. под 25% годовых. На оставшуюся сумму застройщик планирует создать паевый фонд. Ожидаемая доходность собственного капитала при вложении в альтернативный проект (банковский депозит) составляет 10%, требуемая доходность собственного капитала при вложении в данный проект – 40%, требуемая норма прибыли – 15%, превышение цены реализации над себестоимостью строительства – 50%, а ставка налога на прибыль – 20%. Длительность реализации проекта – 2 года. Рассчитаем предпочтительную доходность для пая, с учетом требуемой нормы прибыли.

Для этого сначала рассчитаем требуемую средневзвешенную стоимость капитала

$$WACC = 16,19 \% ; C_p = 21,63 \%$$

С учетом требуемой доходности собственного капитала при вложении в данный проект

$$WACC = 17,47 \% ; C_p = 26,96 \%$$

В случае же, если застройщик отказывается от банковского кредита предпочтительная доходность пая доходность составит

$$C_p = 27,48 ; C_p = 30,15 .$$

В целом использование такого инструмента, как расчет средневзвешенной стоимости капитала, может предоставить обоснование не только для установления доходности пая при формировании фонда инвестиций, но и для оценки эффективности привлечения средств в рамках закрытого фонда, созданного на стандартных условиях (погашение пая по завершению фонда и т.д.). Однако использование данного метода связано с некоторыми допущениями (расчет требуемого WACC, прогнозирование цены и т.д.), что во многом ограничивает его применение.

Автор предлагает использование данного метода, как одного из возможных способов решения поставленной задачи.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *строительство транспортной инфраструктуры, средневзвешенная стоимость капитала*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Распутин Алексей Владимирович, доцент ГОУ ВПО «ИрГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ГОУ ВПО «ИрГУПС»*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГРЕССИИ ПОВЕРХНОСТИ ОТКЛИКА ПРИ АНАЛИЗЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ВАГОНА

ГОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщения»

С.В. Кротов, В.П. Кротов

EFFICIENCY OF RESPONSE SURFACE REGRESSION AT ANALYSIS OF BEARING ABILITY OF WHEEL PAIR THE RAILWAY CAR

«Rostov state transport university»

S.V. Krotov, V.P. Krotov

The article shows the possibility of using the response surface regression model to analyze the bearing ability of the wheelset. Fast statistical estimation of adequacy of offered model is executed.

Keywords: response surface regression, analysis of variance, model adequacy, bearing ability

Рассмотрены вопросы использования регрессионной модели поверхности отклика при анализе несущей способности колесной пары. Выполнено быстрое статистическое оценивание адекватности предлагаемой модели.

Прочность соединения колеса и оси является одним из важнейших показателей несущей способности колесной пары вагона. Надежность соединения колеса и оси вагонной колесной пары, помимо технологических факторов, таких как материал колеса и оси, качество посадочных поверхностей, скорость и усилие запрессовки, зависит и от многих эксплуатационных факторов. Среди множества выделены следующие: вертикальная нагрузка на колесную пару, горизонтальная нагрузка на колесо, крутящий момент, режимы торможения, эксцентриситет точки контакта колеса с рельсом по отношению к центру соединения колеса и оси, толщина обода колеса.

Выполнен численный эксперимент по определению напряженно-деформированного состояния элементов колесной пары и ее прессового соединения [1]. Далее статистическими методами выполняется оценивание несущей способности прессового соединения колеса и оси [2]. Предлагаемая для этого математическая модель – регрессия поверхности отклика, представляет собой комбинацию полиномиальной и факториальной регрессии. Исследуем возможность использования данной модели для анализа несущей способности прессового соединения колеса и оси. В качестве функции отклика принята величина зон скольжения по отношению ко всей площади соединения [3].

Модель поверхности отклика имеет вид

$$Y = X_1 + X_2 + X_2^2 + X_3 + X_3^2 + X_4 + X_4^2 + X_5 + X_5^2 + X_6 + X_6^2 + X_2X_3 + X_2X_4 + X_3X_4 + X_2X_5 + X_3X_5 + X_4X_5 + X_2X_6 + X_3X_6 + X_4X_6 + X_5X_6.$$

В данном случае таблица 1 дисперсионного анализа выглядит следующим образом (ZSKOL - величина зон скольжения).

Для дисперсионного анализа необходимы следующие параметры:

- n – число испытаний (экспериментов), равное 96;
- p – количество независимых регулируемых переменных, равно 6;
- df – степени свободы;
- SS_D – сумма квадратов регрессионного уравнения;
- SS_R – остаточная сумма квадратов (ошибок);
- MS_M, MS_R – несмещенная оценка дисперсии ошибок [4].

В таблице 1 средние квадраты равны сумме квадратов, деленных на соответствующее число степеней свободы

$$MS_i = \frac{SS_i}{df_i}.$$

Таблица 1 – Дисперсионный анализ

Depend ent Variable	Test of SS Whole Model vs. SS Residual (planFac32 макс)										
	Multiple R	Multiple R2	Adjusted R2	SS Model	df Model	MS Model	SS Resid	df Resid	MS Resid	F	p
ZSKOL	0,84	0,71	0,65	1,39	17	0,08	0,56	78	0,01	11,4	0,00

Полная же сумма квадратов и число степеней свободы равны сумме соответствующих составляющих – «обусловленной регрессии» и «остаточной». Полная сумма квадратов SS_T , деленная на число степеней свободы df_T , равна оценке дисперсии переменной Y - величины зон скольжения. Отношение $\frac{SS_M}{SS_T} = R^2$ (множественный коэффициент детерминации) – доля дисперсии Y по $X_1, \dots, X_p$, то есть эта величина представляет собой меру качества подгонки [4].

В таблице 1 дисперсионного анализа представлены тест суммы квадратов целой регрессионной модели по отношению к сумме квадратов остатков при установленном уровне значимости $p < 0,05$ и доверительных границах [5]. Множественный коэффициент корреляции равен $R = 0,84$, множественный коэффициент детерминации $R^2 < 0,71$, скорректированный множественный коэффициент детерминации $R^2 = 0,65$. В данном случае 71% дисперсии случайной переменной «зона скольжения» можно объяснить при помощи выбранной модели уравнения регрессии. Данная модель имеет значение критерия Фишера, которое, при сравнении с табличным значением $F_T(17,78) = 4,31$ при $p < 0,001$, подтверждает адекватность полученной модели.

При дальнейшем сравнении таблиц дисперсионного анализа для регулируемых переменных сделан вывод о том, что для данной модели регрессии лучше избрать в качестве необязательной (факультативной) переменную «вертикальная нагрузка».

При взвешенной переменной «вертикальная нагрузка» таблица 2 дисперсионного анализа принимает следующий вид

При неизменных показателях множественного коэффициента корреляции и детерминации – 0,84 и 0,71 соответственно, повышен скорректированный коэффициент множествен-

ной детерминации – до 0,71. И в этом случае 71% дисперсии величины «зона скольжения» объясняется при помощи выбранной модели регрессии.

Таблица 2 – Дисперсионный анализ со взвешенной переменной

Dependnt Variable	Test of SS Whole Model vs. SS Residual										
	Multiple R	Multiple R ²	Adjusted R ²	SS Model	df Model	MS Model	SS Resid	df Resid	MS Resid	F	p
ZSKOL	0,8	0,71	0,71	321	17	18,9	132	22110	0,01	3162	0

На рисунке 1 представлена зависимость между прогнозируемыми величинами площадей зон скольжения и остатками регрессионной модели.

В случае прямолинейного расположения этой зависимости возле нулевого значения, считается, что выбранная регрессионная модель достаточно адекватно описывает зависимость между регулируемым переменными и зависимой переменной [6]. На рисунке 2 представлена зависимость наблюдаемых (полученных в результате численного эксперимента) и предсказываемых по уравнению регрессии величин зон проскальзывания ступицы относительно подступичной части оси.

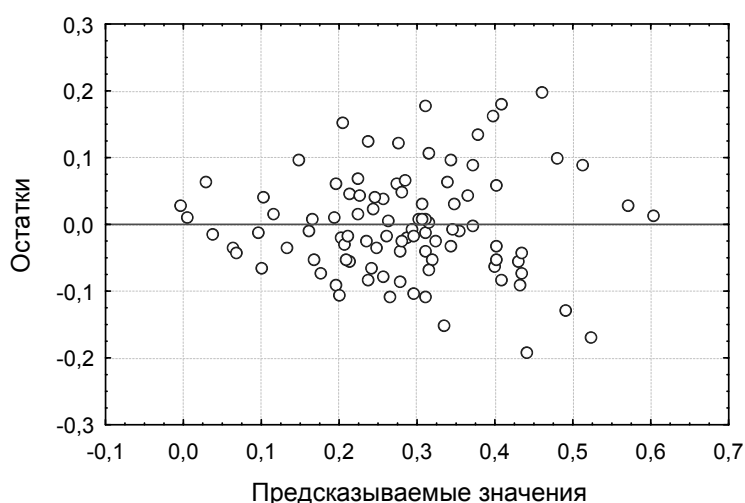


Рисунок 1 – Зависимость между прогнозируемыми величинами площадей зон скольжения и остатками регрессионной модели

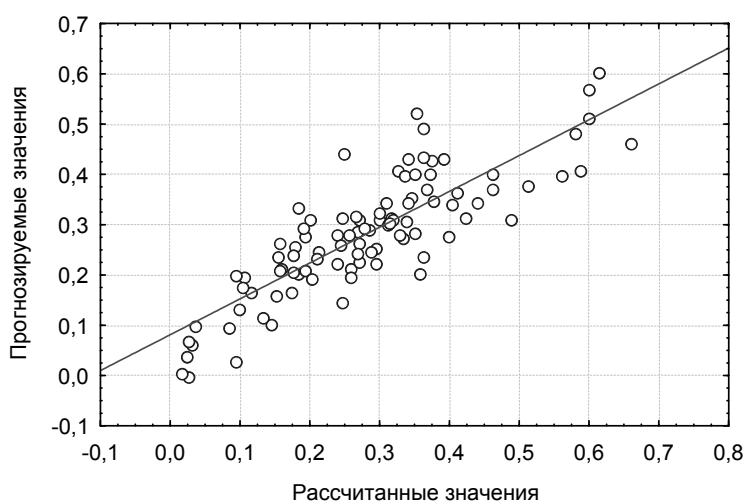


Рисунок 2 – Зависимость между прогнозируемыми величинами площадей зон скольжения по регрессионной модели и рассчитанными значениями

Из графиков видно, что модель адекватно описывает данные. Следовательно, учитывая математические показатели, с помощью предлагаемой модели поверхности отклика можно получать и прогнозировать достаточно надежные зависимости величины площадей зон

скольжения в прессовом соединении колеса и оси от эксплуатационных нагружающих факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кротов, В.П. Напряженно-деформированное состояние колесной пары вагона при повышении режимов нагружения / В.П. Кротов, С.В. Кротов // Вестн. РГУПС. -2002. -№2. -С. 36-39.

2 Кротов, В.П. Оценка несущей способности колесной пары при повышенных нагрузках / В.П. Кротов, С.В. Кротов // Вестн. РГУПС. -2005. -№1. -С. 35-38.

3 Кротов, С.В. Классификация параметров несущей способности прессового соединения колесной пары железнодорожного транспортного средства / С.В. Кротов, В.П. Кротов // Вестн. РГУПС. -2007. -№2. -С. 22-28.

4 Афифи, С. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ: пер. с англ. / С. Афифи, С. Эйзен. -М.: Мир, 1982. -488 с.

5 Боровиков, В.П. Популярное введение в программу STATISTICA / В.П. Боровиков. -М.: КомпьютерПресс, 1998. -267 с.

6 Эренберг, А. Анализ и интерпретация статистических данных / А. Эренберг. -М.: Финансы и статистика, 1981. -406 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *регрессия поверхности отклика, дисперсионный анализ, адекватность модели, несущая способность*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Кротов Сергей Викторович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «РГУПС»*

Кротов Виктор Павлович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «РГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Стрелкового полка народного ополчения, 2, ГОУ ВПО «РГУПС»*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ НЕСМЕЩАЕМОСТИ ПАЛУБНЫХ ПАКЕТИРОВАННЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ОТ СПОСОБА УКЛАДКИ И КРЕПЛЕНИЯ ГРУЗА

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет
им. адм. Г.И. Невельского»

Д.А. Акмайкин, Н.М. Аносов, А.Г. Конаков

STUDY INTO STATIC AND DYNAMIC STABILITY OF DECK PALLETIZED LUMBER CARGO SECURED
«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»
D.A. Akmaykin, N.M. Anosov, A.G. Konakov

An option of developing a system of securing deck palletized cargo allowing a navigating officers to provide for the safety of navigation when carrying lumber cargo is given consideration.

Keywords: density of cargo, inertia, pallet size, stowage, wetting, icing, stencils, cargo stability

Рассмотрена возможность разработки системы крепления палубного пакетированного груза позволяющая судоводителю обеспечить безопасности мореплавания, при перевозке лесных грузов.

Перевозка древесины на палубе началась еще в XIX столетии. В настоящее время увеличение размера судов привело к тому, что стало возможным укладывать пакетированный лес на палубе на высоту до 10-12 м. Хорошо уложенный и закрепленный груз в таком объеме в целостности благополучно доставляется в пункт назначения. При некачественной загрузке в сочетании с плохой погодой, возникает риск потери палубного груза или судна и экипажа.

Размер стандартного пакета древесины согласно ГОСТ [1, 2] по ширине и высоте варьируется от 0,6 до 1,6 м. Длина пакета составляет от 1 до 6 м и выравнивается с обоих торцов. Такой размер пакета был типовым в течение многих лет, пока в стандартах не стали появляться изменения, которые привели к трудностям в процессе погрузки. Эти изменения касаются увеличивающегося числа плохо обернутых и сформированных в пакеты блоков пиломатериала с неровными концами, отличающихся по ширине и высоте. Часто выравнивается только один торец (рисунок 1). Неплотная укладка пакетов, упакованных в пленку с открытым торцом и торчащими пиломатериалами, может стать причиной смещения палубного груза.



Рисунок 1 – Наличие на борту пакетов выровненных с одной стороны

В [3, 4] приведены пределы изменения коэффициентов трения пар, существующих в реальной структуре штабеля пакетированных пиломатериалов, и определяющие выбор расчетных нагрузок в элементах крепления палубного груза.

В [4, 5] расчеты прочности средств крепления и устойчивости палубного груза показали, что усилия в найтовах увеличиваются при уменьшении коэффициента трения. При малых коэффициентах трения возможно невыполнение основного условия несмещаемости груза:

$$\frac{F_y}{F_z} = \frac{a_y}{a_z} \leq f_{mp},$$

где F_y, F_z – силы, действующие на груз при качке;

a_y, a_z – проекции ускорений действующие на груз;

f_{mp} – коэффициент трения.

В Кодексе безопасной практики для судов, перевозящих лесные палубные грузы, пакетированный груз рассматривается как монолит, чем он на самом деле не является, так как пакеты не скреплены между собой и существует пространство между пакетами от 0,02 до 0,07 м, при наличии пакетов выровненных только с одной стороны, расстояние между пакетами может достигать 0,5 м. При намокании и обледенении коэффициент трения между пакетами уменьшается, сила сдвига увеличивается. Сила сдвига зависит от ускорения, которое определяется расположением центра тяжести палубного груза.

Силы, возникающие при качке, будут равны сумме инерционных сил, действующих на каждый пакет в каждом ярусе.

$$F_x = \sum_{k=1}^{N_{яp}} \left(\sum_{i=1}^n m_{i,k} \cdot a_x \right); F_y = \sum_{k=1}^{N_{яp}} \left(\sum_{i=1}^n m_{i,k} \cdot a_y \right); F_z = \sum_{k=1}^{N_{яp}} \left(\sum_{i=1}^n m_{i,k} \cdot a_z \right), \quad (1)$$

где F_x, F_y, F_z – сумма инерционных сил;

$m_{i,k}$ – масса i -го пакета на k -м ярусе;

n – число пакетов в ярусе;

$N_{яp}$ – количество ярусов;

a_x, a_y, a_z – проекции ускорений действующие на груз.

Согласно выражению (1) при штормовой погоде, намокании и обледенении груза усилия возникающие в найтовах, будут настолько велики, что найтовы и стензеля могут не выдержать возникшей нагрузки. Анализ причин аварийных случаев на судах «Синегорск», «Высокогорск» [6, 7] и «Ice Prince» при смещении палубных пакетированных грузов подтверждает данные предположения.

Для изучения устойчивости каравана пакетированного пиломатериала использовалась модель части судна с пакетированным лесным грузом, закрепленным различными способами крепления. Исследования с помощью модели проводились для следующих целей:

1 Сравнить статическую устойчивость пакетированного лесного палубного груза с различными способами укладки и крепления, при различных вариантах упаковки, намокания и обледенения груза с различными углами крена модели.

2 Оценить зависимость величины сдвига пакетированных лесных палубных грузов от ускорения, возникающего во время качки, и от уменьшения коэффициента трения вследствие упаковки пакетов.

На основании закона механического подобия все размеры модели, а так же пакетов пиломатериалов были пропорциональны размерам реального судна с масштабным коэффициентом k_l [8, 9].

Линейные размеры модели подобраны таким образом, что выполнялось соотношение

$$k_l = \frac{I_H}{I_M}. \quad (2)$$

В качестве I_H и I_M были взяты ширина расположенного на крышке трюма натурного и модельного груза. Также соблюдалось линейное подобие по всем остальным размерностям.

Масштаб скорости определялся аналогично. Поперечные скорости определялись с помощью выражения для центростремительного ускорения, где в качестве радиуса окружности вращения (которой соответствует траектория центра тяжести груза на качке) использовалось Z -расстояние от центра тяжести груза до центра тяжести судна, а в качестве силы – F_y , суммарная поперечная составляющая сил тяжести и инерции, действующих на судно, то есть

$$V_H = \sqrt{a_H Z_H} = \sqrt{\frac{F_{y-H}}{m_H} Z_H}; \quad (3)$$

$$V_M = \sqrt{a_M Z_M} = \sqrt{\frac{F_{y-M}}{m_M} Z_M}; \quad (4)$$

$$k_v = \frac{V_H}{V_M}. \quad (5)$$

Из выражения (5) период качки модели

$$t_m = \frac{m_v \cdot l_m \cdot t_h}{l_h} = \frac{m_v \cdot t_h}{m_l} \quad (6)$$

Временной масштаб моделирования

$$k_t = \frac{t_h}{t_m}$$

Проверка подобия модели

$$\frac{k_v \cdot k_t}{k_l} \approx 1.$$

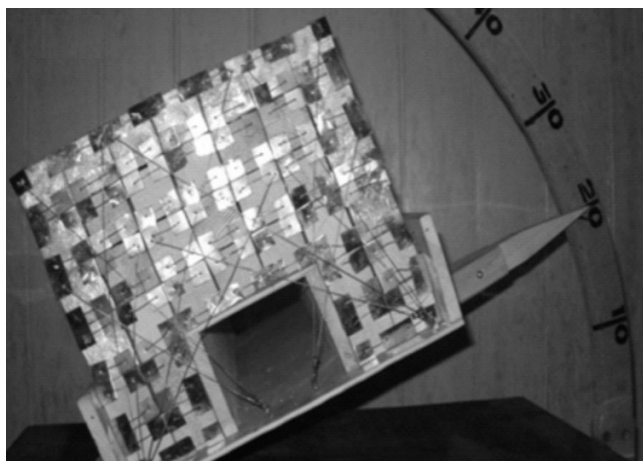
Масштаб моделирования по инерционным силам

$$k_p = \frac{F_h}{F_m}$$

Коэффициенты моделирования для напряжений и деформаций соответственно:

$$k_\delta = \frac{k_l^2}{k_p}; k_E = \frac{1}{k_\delta}$$

Исследование проводилось на двух установках. Одна установка для выполнения статических (рисунок 2а), а другая – для динамических исследований (рисунок 2б).



а)



б)

Рисунок 2 – Проведение экспериментальных исследований модели на: а)-статической установке; б)-динамической установке

Исследования проводились с пакетами пиломатериалов из сосны, лиственницы, березы и осины. В экспериментах использовались пакеты различных размеров, упакованные в соответствии с требованиями ИМО [10, 11] в пленку, без упаковки, сухие, мокрые и обледеневшие пакеты пиломатериалов. Накренение модели производилось до 40° с шагом 5°. Усилие в нагнутах определялось с помощью предварительно откалиброванных динамометров.

На графиках (рисунки 3-5) показана зависимость соотношения ширины модели к смещению пакетов, от угла крена модели на установке

$$K_s = \frac{s}{b_m},$$

где b_m – ширина модели;

s – смещение пакетов.

Во всех случаях на графиках использовались следующие обозначения: а-продольная система крепления; б-продольно-поперечная система крепления; 1-сухие неупакованные пакеты одного размера; 2-мокрые неупакованные пакеты одного размера; 3-сухие упакованные пакеты одного размера; 4-мокрые упакованные пакеты одного размера; 5-обледенелые неупакованные пакеты одного размера; 6-сухие неупакованные пакеты разного размера; 7-мокрые неупакованные пакеты разного размера; 8-сухие упакованные пакеты разного размера; 9-мокрые упакованные пакеты разного размера; 10-обледенелые упакованные пакеты разного размера.

В ходе испытаний караван подвергался намоканию и обледенению. Укладка пакетов –

продольная, поперечная и продольно-поперечная с использованием стэнзелей и без них. Крепление каравана производилось поперечными найтовыми и «шнуровкой».

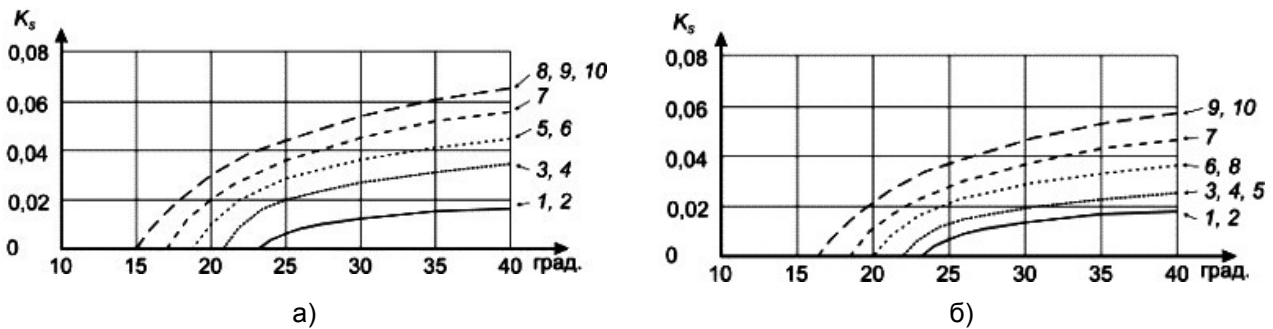


Рисунок 3 – Диаграмма зависимости устойчивости палубного пакетированного груза от угла крена, при статических нагрузках

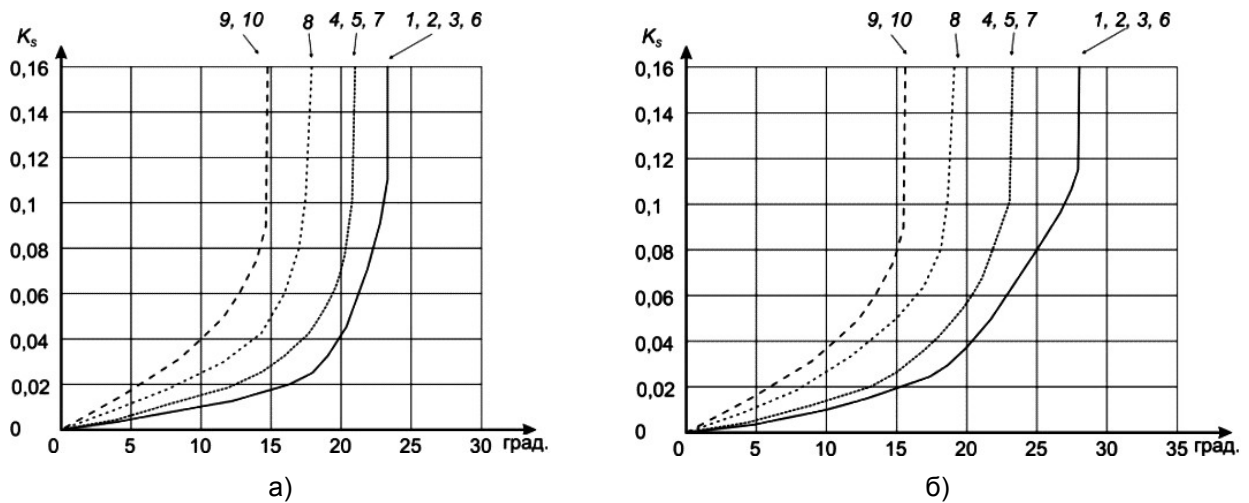


Рисунок 4 – Диаграмма зависимости устойчивости палубного пакетированного груза от угла крена, упаковки и укладки при динамических нагрузках (продольная укладка пакетов пиломатериалов со стэнзелями): а)-период качки модели 2 с; б)-период качки модели 8 с

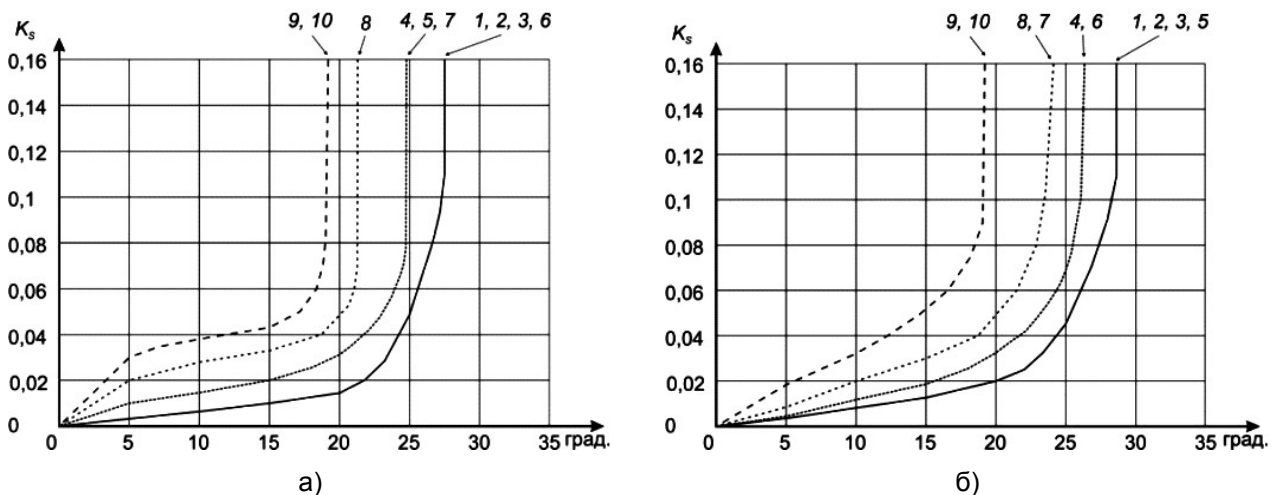


Рисунок 5 – Диаграмма зависимости устойчивости палубного пакетированного груза от угла крена, упаковки и укладки при динамических нагрузках (продольно-поперечная укладка пиломатериалов со стэнзелями): а)-период качки модели 2 с; б)-период качки модели 8 с

Результаты испытаний устойчивости палубного пакетированного груза показали, что при статических изменениях угла крена на смещение пакетов не влияет сорт древесины, укладка каравана, способ крепления палубного груза. В ходе эксперимента небольшие подвижки груза происходили в караване, сформированном из различных по размеру пакетов, особенно упакованных в пленку, при намокании и обледенении (рисунок 3а и 3б). Следова-

тельно, смещение палубного лесного груза происходит, главным образом, за счет динамических нагрузок.

При проведении эксперимента использовались требования к пакетам и формированию каравана такие же, как и при эксперименте статической устойчивости палубного груза. Колесание модели производилась с периодом от 2 до 8 с с амплитудой качки от 5° до 30°.

Данные полученные экспериментальным методом на модели подтверждают, что разрушение каравана происходит в следствии неплотной укладки пакетов пакетированных пиломатериалов разных размеров, в то время как упаковка пакетов синтетическими пленками усугубляет процесс смещения груза (рисунок 4).

Анализ данных, полученных при эксперименте показал, что караван, сформированный методом продольно-поперечной укладки, не является монолитом, а, следовательно, опасен смещением пакетов (рисунок 5). Основными факторами, влияющими на неустойчивость каравана палубного груза при динамических нагрузках, являются: период и амплитуда качки; плотность формирования каравана; материал упаковки пакетов пиломатериалов.

Менее устойчива продольная система укладки каравана, смещение груза начинается при амплитуде качки в 15° (см. рисунок 4). При продольно-поперечной системе укладки палубного груза разрушение каравана происходило при 18° амплитуды качки (см. рисунок 5).

Максимальное смещение палубного каравана возникает при продольном методе крепления пакетов пиломатериалов разных размеров, упакованных в различные виды пленки (см. рисунок 4).

При продольно-поперечном методе формирования палубного каравана смещение пакетов начинается с предпоследнего яруса поперечно уложенных пакетов.

Проведенные исследования наглядно показывают, что при перевозке палубного пакетированного лесного груза крепление пакетов пиломатериалов методом трения (крепление пакетов поперечными найтовыми) не обеспечивает несмещаемость груза в течение всего рейса. Следовательно, необходимо использовать другой метод крепления, при котором палубный пакетированный груз по своим характеристикам будет близок к «монолиту». При использовании метода «прямого» крепления массив палубного груза приближается по своим свойствам к монолиту, так как в караване обеспечена несмещаемость пакетов вдоль осей X, Y, Z, а, следовательно, методика расчета крепления пакетированных палубных грузов, приведенная в Кодексе безопасной практики для судов, перевозящих лесные палубные грузы и Правила безопасности морской перевозки генеральных грузов, будет действовать.[10, 11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пакеты транспортные лесоматериалов. Размеры: ГОСТ 16369-96. -Взамен ГОСТ 16369-88; введ. 1998-01-01. -М.: Изд-во стандартов, 1975. -5 с.
- 2 Пиломатериалы лиственных пород. Технические условия: ГОСТ 2695-83. -Введ. 1984-01-01. -М.: Изд-во стандартов, 1997. -14 с.
- 3 Карпович, Е.Б. Расчет несмещаемости груза с учетом сил трения. Технология морских перевозок грузов / Е.Б. Карпович. -Л.: Транспорт, 1987. -247 с.
- 4 Карпович, О.Е. Актуальные вопросы обеспечения безопасности морской перевозки лесных грузов. Технология морских перевозок грузов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.19: защищена 2005: утв. 05.05.05 / Карпович Олег Евгеньевич. -СПб., 2005. -175 с. -РГБ ОД 61: 05-5 /2232.
- 5 Маков, Ю.Л. Качка судов / Ю.Л. Маков. -Калининград, ФГОУ ВПО КГТУ, 2007. -321 с.
- 6 Материалы расследования ОАО ДВМП аварийных случаев т/х «Высокогорск». - Владивосток: ДВМП, 2006. -26 с.
- 7 Материалы расследования ОАО ДВМП аварийных случаев т/х «Синегорск». - Владивосток: ДВМП, 2009. -32 с.
- 8 Касаткин, Б.С. Экспериментальные методы исследований деформаций и напряжений: справ. пособие / Б.С. Касаткин, А.Б. Кудрин, Л.М. Лобанов. -Киев: Наукова думка, 1981. - 583 с.
- 9 Веников, В.А. Теория подобия и моделирования / В.А. Веников, Г.В. Веников. -М.: Высш. шк., 1984. -439 с.
- 10 Кодекс безопасной практики для судов, перевозящих лесные палубные грузы: резолюция А. 715 (17) // Сборник кодексов ИМО. -СПб., 1997. -С. 108-178.
- 11 Правила безопасности морской перевозки генеральных грузов 4-М. Общие требова-

ния и положения: РД 31.11.21.16-2003: утв. М-вом трансп. России 21.04.03. Т.2. -Введ. в действие 24-11-2003. -СПб.: ЦНИИМФ, 1996. -6 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: плотность груза, инерция, размер пакета, укладка, намокание, оледенение, стензеля, устойчивость груза

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Акмайкин Денис Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

Аносов Николай Михайлович, доцент ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

Конаков Алексей Геннадьевич, доцент ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ОБОСНОВАНИЕ СТРАТЕГИИ МАНЕВРИРОВАНИЯ РЕСУРСАМИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СУДОВ

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет
им. адм. Г.И. Невельского»

А.В. Степанец, И.А. Степанец, В.Е. Верютина

SUBSTANTIATION OF STRATEGY OF MANEUVERING BY RESOURCES AT HADLING VESSELS

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

A.V. Stepanets, I.A. Stepanets, V.E. Veryutina

The article considers the substantiation of principle concentration of labor and technical resources at a management their manoeuvre in the organization hadling vessels in seaport.

Keywords: seaport's resources, strategy of using of resources, intensity of the hadling vessels, concentration of technological lines

Приведено обоснование принципа концентрации трудовых и технических ресурсов при управлении их маневром в процессе организации обработки судов в порту.

Известно, что нормативы обработки судов в порту (интенсивность и количество одновременно обрабатываемых судов) тесно взаимосвязаны как между собой, так и с потребностью порта в ресурсах (в первую очередь – трудовых) [1]. Это обстоятельство предполагает наличие определенной стратегии, которой целесообразно придерживаться как в процессе обоснования нормативов и потребности в ресурсах, так и в процессе их использования, когда появляется возможность маневрирования ресурсами порта. Под ресурсами в данном случае мы понимаем условно переменные или возобновляемые ресурсы: докеры-механизаторы; краны или перегружатели (при возможности их перемещения); погрузчики различной грузоподъемности; машины малой механизации специального назначения; комплекты грузозахватных приспособлений, предназначенные для перегрузки грузов определенного технологического профиля. При этом следует иметь в виду, что по каждому виду переменных ресурсов может быть задана своя возможность перераспределения в процессе обработки судов.

Выбор стратегии поведения в любом случае предусматривает обеспечение эффективности функционирования рассматриваемого объекта.

В данном случае стратегия изменения нормативов обработки судов затрагивает в основном интересы флота, так как предполагается, что в процессе маневра ресурсы порта (а следовательно и его затраты) остаются неизменными.

Соответственно, если речь идет о группе судов, то эффективная стратегия использования ресурсов порта для реализации нормативов обработки судов должна обеспечить сокращение затрат по нахождению в порту судов данной группы, что в конечном счете эквивалентно сокращению стояночного времени всей группы судов.

Попытаемся сначала оценить стратегию маневрирования ресурсами порта на следующем простом примере.

Предположим, что в порт одновременно прибыли два судна, каждый с загрузкой (Q_c) по 4000 т. Для упрощения задачи груз принимается однородным.

Ресурсы порта (условно) состоят из четырех причалов с перегрузочным оборудованием и четырех комплексных бригад докеров-механизаторов, каждая производительностью (P) 50 т/ч.

Таким образом, порт может оба судна поставить к причалам, но в использовании трудо-

вых ресурсов возможны два решения (стратегии).

Вариант 1. Оба судна обрабатываются параллельно равным количеством бригад. Интенсивность обработки судов ($M_{гр}$) будет равной произведению количества бригад на их производительность.

Тогда стояночное время ($T_{ст}$) обоих судов будет определено как сумма времени грузовых работ ($t_{гр}$)

$$T_{ст} = t_{гр1} + t_{гр2} = \frac{4000}{2 \times 50} + \frac{4000}{2 \times 50} = 80 \text{ судо} \cdot \text{ч.}$$

Вариант 2. Сначала все трудовые ресурсы концентрируются на одном судне, а после окончания его обработки – переключаются на обработку второго судна. В этом случае интенсивность обработки судов будет также равной, но во время обработки первого судна у второго судна будет простой в ожидании обработки ($t_{ож}$).

Тогда стояночное время обоих судов будет равно:

$$T_{ст} = t_{гр1} + t_{гр2} + t_{ож} = \frac{4000}{4 \times 50} + \frac{4000}{4 \times 50} + \frac{4000}{4 \times 50} = 60 \text{ судо} \cdot \text{ч.}$$

Таким образом, из приведенного простого примера видно, что целесообразно концентрировать ресурсы на обработку меньшего числа судов.

Для того чтобы подтвердить полученный вывод рассмотрим задачу в общем виде.

Допустим, что в порт прибыло Z судов для обработки на взаимозаменяемых причалах специализированного района с загрузкой каждого судна Q_c .

Порт располагает N_n количеством технологических линий (ТЛ) (простых комплексных бригад) с производительностью каждой линии P , т/ч. Суммарная максимально возможная производительность этих линий $\sum P$ будет равна

$$\sum P = P \times N_n \quad (1)$$

Для наиболее эффективного использования потенциальной производственной возможности этих линий будем исходить из двух условий.

1) Все имеющиеся ресурсы (линии) распределяются между общим числом обрабатываемых судов Z равномерно.

2) Суда в меньшем количестве из общего числа Z , обозначим его через N , становятся к причалам под обработку с максимально возможной концентрацией ТЛ, исходя из имеющихся ресурсов.

Таким образом, при реализации любого условия (в случае, $N = Z$ и $N < Z$ соответственно) на каждом обрабатываемом судне будет обеспечена интенсивность грузовых работ

$$M_{гр} = P \times N_n / N \quad (2)$$

Остальная часть судов ($Z - N$) в этом случае будет находиться в ожидании очередности обработки.

Возьмем отношение количества всех судов к числу судов, поставленных под обработку, то есть

$$K = \frac{Z}{N}.$$

Это отношение будет определять число «подач» судов под обработку группами по N единиц и последовательность «подач» из очереди под обработку $i = 1, 2, \dots, (K - 1)$, поскольку первая «подача» в очереди не находилась.

Время грузовых работ (в судо·ч) для каждого судна в отдельности с учетом (2) будет равно

$$t_{гр} = Q_c \times N / P \times N_n. \quad (3)$$

Общее время грузовых работ по всем судам составит

$$T_{гр} = Q_c \times N \times Z / P \times N_n \quad (4)$$

Определим продолжительность (в судо·ч) времени в ожидании обработки

$$T_{ож} = t_{гр} \times \sum_{i=1}^{K-1} (Z - i \times N). \quad (5)$$

Выражение суммы из формулы (5) представим в следующем виде

$$\sum_{i=1}^{K-1} (Z - i \times N) = (Z - 1 \times N) + (Z - 2 \times N) + \dots + [Z - (K - 1) \times N],$$

или

$$\sum_{i=1}^{K-1} (Z - i \times N) = (K - 1)Z + N[1 + 2 + \dots + (K - 1)].$$

Пользуясь формулой суммы членов арифметической прогрессии и учитывая, что $K \times N = Z$, после соответствующих преобразований получим

$$\sum_{i=1}^{K-1} (Z - i \times N) = Z \frac{(K - 1)}{2}.$$

Таким образом, формула (5) примет вид

$$T_{ож} = t_{ер} \times Z \frac{(K - 1)}{2} \quad (6)$$

Суммируя время грузовых работ и в ожидании обработки по всем судам, получим

$$T_{общ} = T_{ер} + t_{ер} \times Z \frac{(K - 1)}{2},$$

или в развернутом виде

$$T_{общ} = (Q_c \times N \times Z / P \times N_n) + (Q_c \times N \times Z / P \times N_n) \frac{(K - 1)}{2}.$$

Откуда получаем окончательное выражение

$$T_{общ} = (Q_c \times N \times Z / P \times N_n) \left[1 + \frac{(K - 1)}{2} \right].$$

Хотя в этой функции значения переменных носят целочисленный характер, вариантный способ ее исследования показывает необходимость распределять имеющиеся ресурсы между судами с предельно возможной концентрацией ТЛ. Чем выше концентрация ТЛ на обрабатываемых судах, тем меньше $T_{ер}$ и $T_{ож}$, а, следовательно, и $T_{общ}$. При сравнении двух вариантов количества одновременно обрабатываемых судов экономия стояночного времени в общем виде (при условии, что $N_1 > N_2$) будет определена из выражения

$$\Delta T_{общ} = \left\{ (Q_c \times N_1 \times Z / P \times N_n) \left[1 + \frac{(K_1 - 1)}{2} \right] \right\} - \left\{ (Q_c \times N_2 \times Z / P \times N_n) \left[1 + \frac{(K_2 - 1)}{2} \right] \right\}.$$

Учитывая, что $N_1 \times K_1 = N_2 \times K_2 = Z$, после соответствующих преобразований получим

$$\Delta T_{общ} = (Q_c \times Z / P \times N_n) \frac{(N_1 - N_2)}{2}.$$

Поскольку условие $N_1 > N_2$ задано как исходное, полученное значение $\Delta T_{общ}$ всегда будет положительным, то есть всегда будет экономия стояночного времени, что и требовалось доказать.

При различных P и N_n на отдельных причалах можно воспользоваться их средними значениями. Однако уточнение количественных результатов не нарушит целесообразности основного принципа концентрации ресурсов по избранному критерию – минимуму времени нахождения судов в порту.

Учитывая, что рассматриваемая в процессе вывода величина N по своей сути является нормативом одновременно обрабатываемых судов (НПК или НООС), стратегию маневра ресурсами при оперативном управлении обработкой судов можно сформулировать следующим образом.

При планировании обработки судов следует ресурсы распределять таким образом, чтобы интенсивность обработки судов была максимальной, а количество одновременно обрабатываемых судов было производной от установленной интенсивности обработки судов.

Полученный вывод является справедливым для того максимального значения концентрации ТЛ на обработку судна, при котором не снижается производительность одной технологической линии (N_n^1). При изменении концентрации ТЛ в пределах от N_n^1 до максимально возможного значения оптимальное решение может быть определено только сопоставлением совокупных затрат по комплексу «порт-флот» для различных вариантов.

Однако и при экономическом сравнении вариантов целесообразно сначала рассматривать варианты по интенсивности обработки, начиная с максимальной концентрации ТЛ, а по

количеству одновременно обрабатываемых судов – с минимального значения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Верютина, В.Е. Комплексный подход к оптимизации эксплуатационных параметров морского торгового порта / В.Е. Верютина // Актуальные проблемы экономики и управления на транспорте: сб. материалов восьмой всерос. науч.-практ. конф., 21 мая 2010 г. / Мор. гос. ун-т. – Владивосток, 2010. –С. 3-7.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ресурсы порта, стратегия использования ресурсов, интенсивность обработки судов, концентрация технологических линий

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Степанец Анатолий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
Степанец Игорь Анатольевич, канд. техн. наук, старший преподаватель ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Верютина Виктория Евгеньевна, аспирант ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

АССОЦИАТИВНО-СТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВОЙ ХОДОВОЙ ВАХТЫ

ФГОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»

Д.А. Варлачев, А.А. Сиротюк, В.И. Меньшиков

ASSOCIATIVELY STRUCTURAL APPROACH OF DESCRIBING THE INTERACTION OF THE ELEMENTS OF NAVIGATIONAL WATCH

«Murmansk state technical university»

D.A. Varlachev, A.A. Sirotyuk, V.I. Menshikov

The results of continuing work in the field of describing the interaction of the elements of the navigational watch are stated in the paper. Proposed associatively structural approach to depict the functioning of a localized system «Watch».

Keywords: navigational watch, associatively structural systems, system antiisomorphism

Представлены результаты продолжения работы в области описания взаимодействия элементов судовой ходовой вахты. Предложен ассоциативно-структурный подход для отображения процесса функционирования локализованной системы «Вахта».

В общем виде современную систему текущего управления состоянием эксплуатации судна («Вахта») можно рассматривать как структуру, полученную в результате взаимодействия отдельных ассоциаций, например, определенных по виду технологической деятельности (ходовой мостик, машинное отделение и т.д.), объединяемых заданными структурными отношениями. Такое структурное представление носит название ассоциативно-структурных систем (АС-систем), которые имеют слабовыраженную структуру, с признаками, отвечающими специфическим требованиям к их выходным параметрам. Причём сам выход АС-системы формируется в виде совокупности выходных параметров каждой ассоциации, также объединяемых по бинарным правилам. Поэтому совокупность параметров состояния системы «Вахта» может представлять не только результат прямого суммирования выходных параметров ассоциаций, но и отвечать отношению между ними. Изменение состояния АС-системы под воздействием внешних или внутренних неблагоприятных воздействий возможно не только за счёт появления технических отказов, организационных сбоев и ошибок «человеческого фактора» в ассоциациях, но и в результате изменения бинарного отношения между выходными параметрами самих ассоциаций.

Воспользуемся возможностями ассоциативно-структурного подхода для описания процесса функционирования локализованной системы «Вахта», акцентируя основное внимание на развитии возможных аварийных ситуаций. Пусть в общем случае множество ассоциаций образуют АС-систему N («Вахта»), которая соответствует признакам, заложенным в организационно-техническую систему управления безопасной эксплуатацией судна (СУБ) требованиями Международной Морской Конвенции «Солас-74» и Кодекса МКУБ к ней, а также Международной Морской Конвенции ПДНВ-78/95 и Кодексов к ней [1].

В такой системе всякой паре ее ассоциаций x и y , взятых в определенном порядке, может быть сопоставлена подсистема β из того же множества, рассматриваемая как произведение xy ассоциаций x и y . Кроме того, пусть для подсистемы β всегда выполняется закон ассоциативности

$$x(yz) = (xy)z; \quad x, y, z \in N,$$

где

$$x, y \in \beta; \quad xy \in \beta.$$

Тогда подсистему β АС-системы N можно определить с помощью бинарного отношения, например, пересечения всех подсистем системы N , содержащих ассоциации $x, y \in \beta$ и $xy \in \beta$. Более того, подсистему β можно назвать производящей, поскольку процесс функционирования в системе N может быть получен с помощью произведения конечного числа ассоциаций, определенных на множестве β и образующих эту подсистему. В том случае, если АС-система N имеет производящую подсистему β и в этой подсистеме содержится только один циклический элемент, то в целом «Вахту» следует относить к ассоциативной бесконечной циклической системе. Если обратиться к особенностям функционирования системы «Вахты», то можно подсистеме β приписать вполне конкретную физическую аналогию. Так, производящей подсистемой в СУБ должен быть цикл Шухарта-Деминга и, следовательно, с позиции структурно-ассоциативного подхода АС-систему управления эксплуатацией судна можно рассматривать как ассоциативную и бесконечную циклическую систему, с порождающей подсистемой β , представленной этим циклом.

Рассмотрим особенности функционирования АС-систем «Вахта» в «рабочей» состоянии и оценим это состояние, привлекая такое понятие как системный антиизоморфизм. Так, пусть бесконечная циклическая АС-система N является свободной и обладает единственным и свободным производящим множеством F подсистемы β , причем мощность этого множества $\text{Card } F$, всегда соответствует ее рангу. Свободным производящим множеством системы N будем называть такое её производящее множество, между элементами которого нет никаких не тождественных отношений. Тогда, если x, y -элементы АС-системы, то в ней должно выполняться условие

$$\{x, y\} = \{x, xy, y^2, y^3, \dots\} \cup \{y, yx, x^2, x^3, \dots\}.$$

Такое допущение вполне применимо к подсистеме β , содержащей только один элемент в виде цикла Шухарта-Деминга. Поэтому свободная АС-система «Вахта», сама по себе системно антиизоморфная, поскольку каждый ее элемент производящего множества может быть записан в виде произведения

$$s_1 \times s_2 \times \dots \times s_m,$$

где

$$s_i \in F,$$

а отношение вида

$$\varphi(s_1 s_2 \dots s_m) = s_m s_{m-1} \dots s_1, \quad (1)$$

следует считать характерным признаком системного антиизоморфизма ω АС-системы N типа «Вахта». В тоже время антиизоморфизм ω АС-системы «Вахта» необходимо рассматривать, как признак самодостаточности, выражаемый в структурной и логической избыточности

Пусть рассматриваемая АС-система «Вахта» является логически и структурно избыточной. Логически избыточной эта система будет в том случае, если она формирует правильную выходную команду на некотором подмножестве входных сообщений, хотя бы для одного состояния A_i . Структурно избыточной система несения вахты будет в том случае, если за счет введения дополнительных логических элементов эта система способна формировать правильную выходную команду управления на всем множестве входных сообщений, поступающих на ходовой мостик судна, хотя бы для одного состояния A_i . Тогда логически избыточная система несения ходовой вахты должна отвечать условию

$$(\exists A_i \in B \rightarrow N_{ii} \neq N) \wedge (\forall A \in B \rightarrow N_{ii} \neq \emptyset), \quad (2)$$

а структурно избыточной такая система будет тогда и только тогда, когда выполняется соотношение

$$\exists A_i \in B \rightarrow N_{ii} = \emptyset, \quad (3)$$

где N_{ji}, N – информационные переменные;

B – множество входных сообщений, поступающих на ходовой мостик судна.

Условие логической и структурной избыточности определяет виды возможных информационных сбоев, которые могут происходить в системе несения ходовой вахты. Так, например, допустимо считать, что логически и структурно избыточная система несения ходовой вахты будет обладать следующими информационными сбоями:

$$\forall X \in N \rightarrow f(X) \neq f(X), N = \emptyset, N = N;$$

$$\forall X \in N \rightarrow f(X) \neq f(X), N = N, N = \emptyset;$$

$$[\exists X \in N \rightarrow f(X) = f(X)] \wedge [\exists X \in N \rightarrow f(X) \neq f(X)].$$

Пусть далее функционально исправным состоянием структурно избыточной организации ходовой вахты назовем множество таких состояний, в каждом из которых число ошибающихся «человеческих элементов» будет меньше k , где $(k-1)$ -число допустимых искаженных докладов, поступающих и исправляемых капитаном судна.

Вероятность $P_u(t)$ функционально исправного состояния структурно избыточного коллектива ходовой вахты можно определить по известной формуле [2]

$$P_u(t) = P_k(t) \sum C_L^j P(t)^{L-j} [1 - P(t)]^j, \quad (4)$$

где L – число параллельно работающих «человеческих элементов» информационные выходы, которых соединены с капитаном судна;

$P_k(t)$ – вероятность безотказной работы капитана (в дальнейшем будем считать, что $P_k(t) = 1$).

Если каждый «человеческий элемент» имеет $(m+1)$ функциональных состояний, то мощность множества M функциональных состояний структурно избыточного коллектива штурманской вахты $|(m+1)^L|$.

Из формулы (2) следует, что каждый конкретный отказ в логически избыточной системе несения вахты приводит к искажению команды лишь на каком-то подмножестве входных наборов производственных сообщений. Ошибочная команда на выходе структурно избыточной системы несения ходовой вахты возникает только тогда, когда j отказавших «человеческих элементов» одновременно искажают более чем $(k-1)$ выходных сообщений (докладов) хотя бы на одном из входных наборов производственных сообщений. Множество состояний, соответствующее j отказавшим «человеческим элементам», обозначим M_j . Будем считать, что $A_j \in M_{j0}$, если при данных j отказах отсутствует искажение управляющих команд, поданных капитаном (на выходе системы ходовой вахты), и $A_j \in M_{j1}$, если такое искажение есть.

Очевидно, что $M_{j0} \cup M_{j1}, M_{j0} \cap M_{j1} = \emptyset$. Поэтому для любого $A_j \in M_j$ подмножество N_{ji} определяется в следующем виде

$$N_{ji} = (N_{i(1),j} \cap N_{i(2),j} \cap \dots \cap N_{i(k),j}) \cup \dots \cup (N_{i(l-k),j} \cap \dots \cap N_{i(j),j}),$$

где C_j^* – число объединений;

$N_{i(j),j} (k=1, \dots, j)$ – подмножества входных наборов производственных сообщений, на которых функции f_{jk} и f_a не совпадают.

Для $j \geq k$ справедливо следующее отношение

$$(\forall A_j \in M_{j0} \rightarrow N_{ji} = \emptyset) \wedge (\forall A_j \in M_{j1} \rightarrow N_{ji} \neq \emptyset).$$

Вероятность правильной выходной управляющей команды из структурно избыточной системы несения вахты в момент времени t равна

$$I_t = P_{ut} + \sum_{A_j \in M_{j0}} [P_t(A_j) + \sum_{A_j \in M_{j1}} P_t(A_j) [\sum P(X_i, t)]]; \\ A_j \in M_{j0}; A_j \in M_{j1}; X_j \in M_{ji}.$$

Когда система несения ходовой вахты логически не избыточна, то $M_{j0} = \emptyset$ и $N_{ji} = N$ для $A_j \in M_{j1}$, поэтому $I_t = P_{ut}$. Если же «человеческие элементы» входящие в состав вахты обла-

дают логической избыточностью, то $M_{j0} \neq \emptyset$ и существуют $A_j \in M_{j1}$ для которых $N_{j1} \neq N$. Отсюда следует, что $I_t > P_{ut}$.

Оценим вероятность подачи правильной выходной команды капитаном в структурно избыточной системе несения ходовой вахты на интервале $[0, t]$ при условии, что на любом интервале $\Delta t \ll [0, t]$ мультимедийное пространство ходового мостика поставляет «человеческим элементам» известные сообщения T_{pu} . Тогда можно разбить множество всех состояний структурно избыточной системы несения ходовой вахты на два подмножества: к первому подмножеству следует отнести состояния, в которых число «человеческих элементов» поставивших капитану заведомо неверную информацию не превышает его корректирующей способности, а ко второму подмножеству – все оставшиеся состояния. Запишем по формуле Байеса

$$I_t = \sum_{j=0}^{k-1} \sum \frac{P_t(A_j)}{t/A_j} + \sum_{j=k}^L \sum \frac{P_t(A_j)}{t/A_j}; A_j \in M_j; A_j \in M_j.$$

Но для любого $j < k$ подмножество M_{j0} совпадает с множеством M_j , то есть все состояния являются работоспособными для логически избыточной системы несения вахты, и $I(t/A_j) = 1$ для всех $A_j \in M_{j0}$ ($j = 0, 1, \dots, k-1$). Сумма вероятностей всех состояний при $j < k$ совпадает с вероятностью $P_u(t)$ функционально исправного состояния структурно избыточного ходовой вахты. Для всех $A_j \in M_{j0}$ имеем равенство $I(t/A_j) = 0$, так как по определению найдется хотя бы один входной набор сообщений из множества наборов таких сообщений, на котором будет проявляться искажение команды капитана судна.

С учетом вышесказанного и того, что множество $M_j = M_{j0} \cup M_{j1}$ перепишем $I(t)$ так

$$I(t) = P_u(t) + \sum_{j=k}^L \sum \frac{P_t(A_j)}{t/A_j}; A_j \in M_{j0}. \quad (5)$$

Для логически избыточной системы несения вахты в сложных условиях подмножество $M_{j0} \neq \emptyset$ и по определению вероятность $I(t/A_j) = 1$ для $\forall A_j \in M_{j0}$. Отсюда следует, что $I(t) > P_u(t)$. При невыполнении условия передачи из информационного пространства ходового мостика заранее известного сообщения на любом сколь угодно малом интервале Δt в выражение (5) для логически избыточной системы несения вахты в сложных условиях добавятся члены, соответствующие состояниям $A_j \in M_{j0}$.

Таким образом, вероятность безотказного функционирования структурно избыточной системы несения ходовой вахты, определяемая по выражению (4), дает заниженное значение ее надежности. Вероятность правильной команды капитана на управление состоянием безопасной эксплуатации судна более полно характеризует вероятность безотказной работы такой системы, поскольку позволяет учесть ее логическую избыточность. Безотказное функционирование структурно избыточной системы несения ходовой вахты и отвечающие требованиям хорошей морской практики команды капитана на управление состоянием безопасной эксплуатации судна можно характеризовать вероятностью безотказной работы такой системы, поскольку эта вероятность позволяет дополнительно к структурной избыточности учесть и логическую избыточность состава этой вахты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года (СОЛАС-74): консолидир. текст, изм. Протоколом 1988 г. к ней, с поправками. -СПб.: ЦНИИМФ, 2008. - 984 с.

2 Гладышевский, М.А. Организационно-технические структуры, обеспечивающие безопасную эксплуатацию судна / М.А. Гладышевский, М.А. Пасечников, К.В. Пеньковская; под общ. ред. В.И. Меньшикова. -Мурманск: Изд-во МГТУ, 2008. -166 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ходовая вахта, ассоциативно-структурные системы, системный антиизоморфизм

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Варлачев Дмитрий Александрович, аспирант ФГОУ ВПО «МГТУ»

Сиротюк Анатолий Андреевич, аспирант ФГОУ ВПО «МГТУ»

Меньшиков Вячеслав Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13, ФГОУ ВПО «МГТУ»

ОСОБЕННОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В АРКТИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СНС. БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ

ФГОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»

Н.В. Калитёнков, В.И. Милкин, А.Н. Калитёнков, А.В. Гурин, С.А. Черноус

FEATURES OF POSITIONING IN THE ARCTIC USING THE SNA. SAFETY OF NAVIGATION

«Murmansk state technical university»

N.V. Kalitenkov, V.I. Milkin, A.N. Kalitenkov, A.V. Gurin, S.A. Chernous

In the work experimental results change the accuracy of GPS positioning during development of auroral disturbances are presented.

Keywords: satellite navigation, auroral disturbances, auroras, precision positioning

Представлены результаты экспериментальных исследований изменения точности GPS позиционирования во время развития авроральных возмущений.

В Арктике эффективное решение навигационных задач, крайне важных как для практики народного хозяйства так и для целей обороны страны, сталкивается с целым рядом трудностей, порой непреодолимых. Одна из таких трудностей, вероятно основная, обусловлена тем, что ионосфера авроральной зоны и полярной шапки как среда распространения информационно-навигационных сигналов практически постоянно находится в возмущенном состоянии, меняется лишь степень ее возмущенности.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований изменения точности GPS позиционирования во время развития авроральных возмущений. В первой серии экспериментов навигационный приемник работал в режиме полного обзора неба и принимал навигационную информацию от достаточно большого (избыточного) количества (как правило, от двенадцати) навигационных спутников, что давало возможность выбирать для обработки оптимальное созвездие. Во второй серии экспериментов искусственно блокировалась радиовидимость южной части небосвода и навигационный приемник работал с сигналами ограниченного, но достаточного для навигационных целей количества спутников, находившихся в зоне его видимости, то есть со спутниками северной части небосвода. Радиосигналы этих спутников распространялись через ионосферу авроральной зоны и полярной шапки, которая практически постоянно возмущена. Из рисунка 1, на котором верхняя панель отображает изменение точности позиционирования в направлении С-Ю с помощью GPS в интервале времени с 18 по 24 UT 25 марта, а на нижней панели приведены вариации Н-компоненты напряженности геомагнитного поля, зарегистрированные на норвежской обсерватории Bjornoуа за тот же интервал времени видно, что в отдельные моменты точность позиционирования в меридиональном направлении снижалась. В период времени с 21:26 UT до 22:54 UT навигационный приёмник перестал нормально функционировать, что совпало во времени с резкой отрицательной бухтой в Н-компоненте поля на станции Bjornoуа.

Однако, при плавании в высоких широтах, для определения районов, в которых возможны нарушения работы GPS (сбои, уменьшение точности позиционирования), а также времени суток, когда такие нарушения будут отмечаться, использование только одной Н-компоненты геомагнитного поля не является достаточным и необходимо искать пути создания модельных представлений безопасного навигационного процесса. В этих целях, опираясь на известную связь между величиной отклонения горизонтальной компоненты геомагнитного поля (по модулю) от невозмущенного уровня и индексом геомагнитной активности Q , представлены карты овала полярных сияний как индикатора возмущения среды распространения навигационных радиосигналов для различных гелио-геофизических условий и разных моментов мирового (UT) времени. Изменение параметров аврорального овала (широта северной границы, широта южной границы) для конкретного интервала времени определяется динамикой Q -индекса и может носить взрывной характер. Динамика параметров аврорального овала для фиксированного значения Q -индекса определяется временем суток и характеризуется как медленная. В практике мореплавания для графического решения навигационных задач на карте в основном используется нормальная равноугольная цилиндрическая проекция Меркатора. При использовании данной проекции линия пути (локсодромия) изображается в виде прямой и отсутствует искажение углов. Эти свойства максималь-

но упрощают процедуру решения навигационных задач. Предложена программа представления синоптических карт овала полярных сияний именно в этой проекции с дальнейшей возможностью их совмещения с морской навигационной картой. В качестве примера ниже представлены положения овалов полярных сияний для спокойных геомагнитных условий $Q = 0$ и времени суток 00.00UT – рисунок 2, а также для умеренно возмущенных геомагнитных условий $Q = 4$ и времени суток 00.00UT – рисунок 3 как в географических координатах так и в меркаторской проекции.

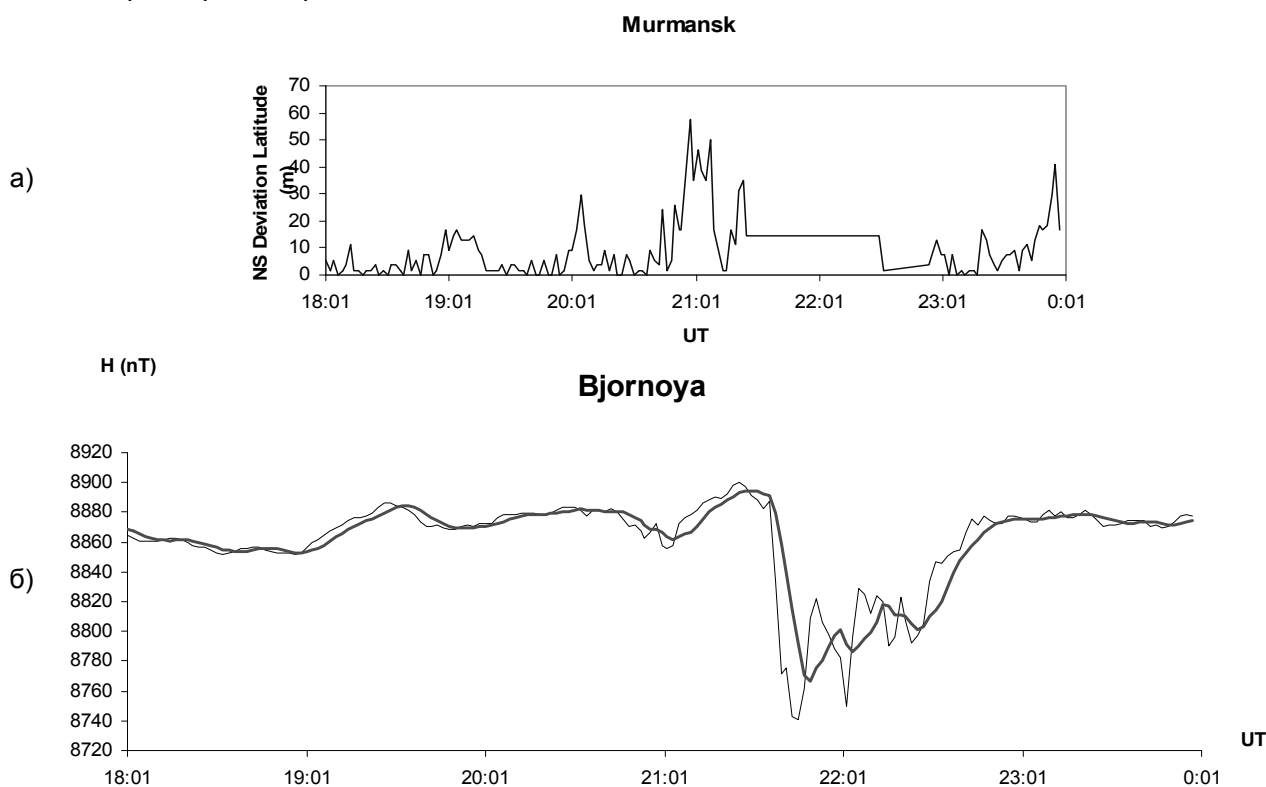


Рисунок 1 – Точность позиционирования (а) и геомагнитные возмущения (б)

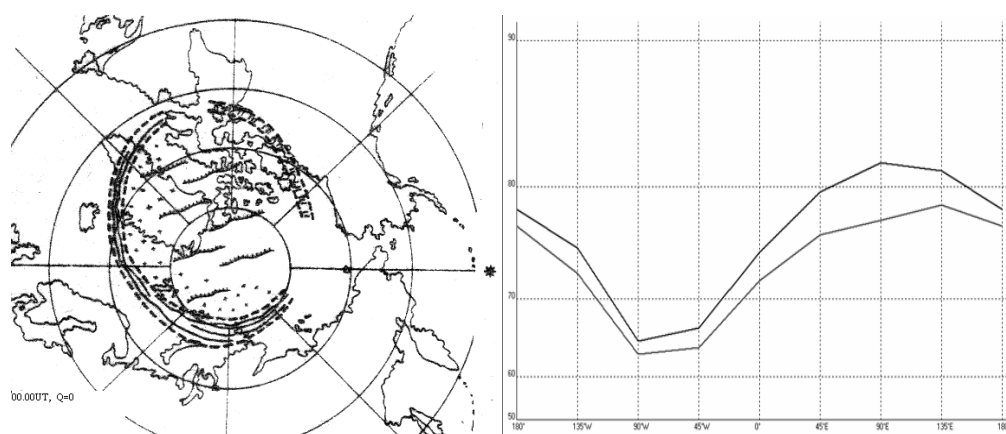


Рисунок 2 – Положение овала полярных сияний для спокойных геомагнитных условий $Q = 0$ и момента времени 00.00UT

Предложенные карты позволяют для конкретных моментов времени и конкретных величин геомагнитного возмущения привязать области среды распространения информационно-навигационных радиосигналов, пораженные неоднородностями электронной плотности, к маршруту плавания или месту проведения специальных работ, что, в свою очередь, позволяет спланировать упреждающие действия по дублированию систем радиосвязи и радионавигации. Карты овала могут храниться на борту судна в электронном виде и использоваться по мере возникновения необходимости путем совмещения их с навигационной картой. Для установления физических механизмов, ответственных за ухудшение работы СНС, проводи-

лась специальная обработка экспериментального материала. Ниже на рисунке 4 приведены результаты измерений вариации погрешностей позиционирования (верхняя часть) и кеограмма камеры всего неба в Соданкюла. Очевидно, что как максимальные погрешности вблизи 21 00, так и полное нарушение работы системы в период 22:20-22:40 однозначно совпадают с появлением дискретных форм полярных сияний, представленных на кеограмме.

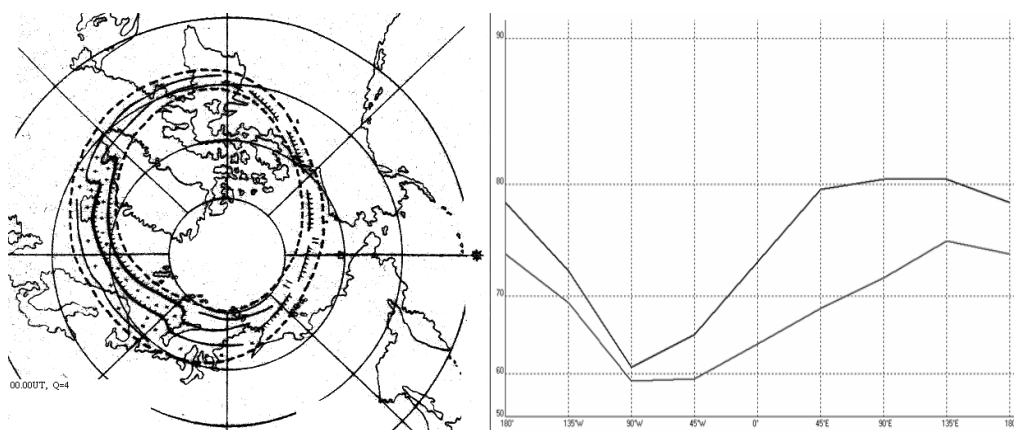


Рисунок 3 – Положение овала полярных сияний для спокойных геомагнитных условий $Q = 4$ и момента времени 00.00UT

Анализ этих и других, полученных в эксперименте материалов, дает основания полагать, что амплитуда вариаций геомагнитного поля гораздо менее информативна в качестве диагностического признака ошибок позиционирования GPS в высоких широтах, чем пространственно-временные вариации интенсивности форм полярных сияний. Для более детального исследования взаимосвязи между пространственно-временной динамикой форм полярных сияний и точностью позиционирования с помощью GPS предложено использовать электронную видеокамеру всего неба. Предложена схема размещения, когда камера, регистрирующая полярные сияния с полем зрения 180° , и приемник GPS сигналов, диаграмма направленности антенны которого имеет аналогичный раскрыт, находятся на одной платформе и одинаковым образом ориентированы в пространстве. В этом случае поле зрения оптической камеры и диаграмма направленности антенны GPS приемника, должны полностью совпадать, что позволяет установить наличие или отсутствие форм полярных сияний на трассе прохождения GPS сигнала, так как азимутальный угол и угол места конкретного навигационного спутника тоже известен. В разработанном аппаратном комплексе используется видеокамера, снабженная объективом типа «рыбий глаз» с углом зрения, равным 170° . Поскольку оптическая ось камеры ориентирована вертикально вверх, то возникает необходимость защиты камеры от атмосферных осадков типа дождь, снег. Эта задача решена посредством размещения камеры в боксе, снабженным автоматически управляемой крышкой. Выбор системы автоматического управ-

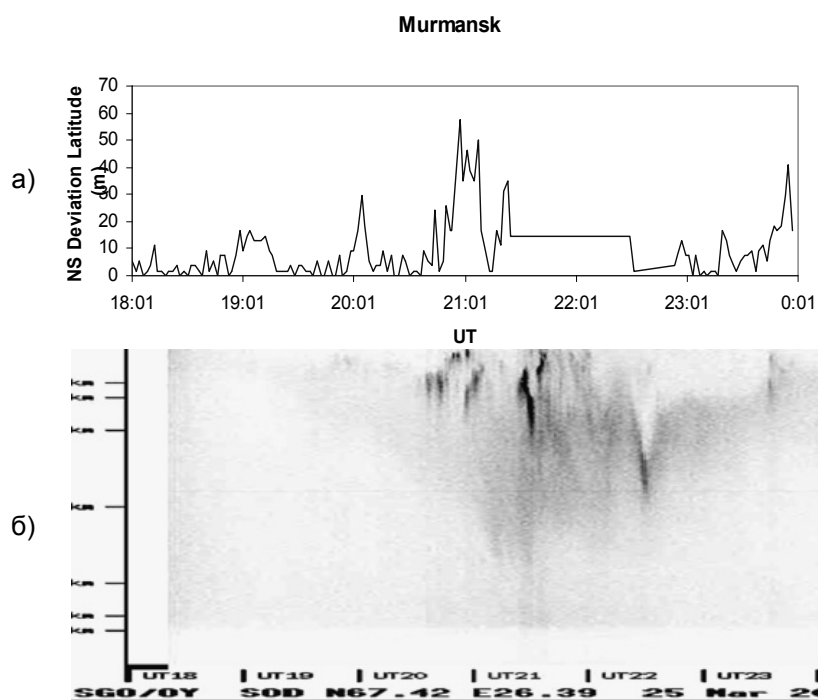


Рисунок 4 – Вариации погрешностей позиционирования (а) и кеограмма (негатив) (б)

ления выбранной системы автоматического управления, зависит от многих факторов, таких как стоимость, надежность, сложность, возможность интеграции с другими системами. В данном случае, для решения задачи, поставленной перед нами, была выбрана система автоматического управления, которая позволяет автоматически управлять камерой, регистрирующей полярные сияния, и приемником GPS сигналов, что позволяет установить наличие или отсутствие форм полярных сияний на трассе прохождения GPS сигнала, так как азимутальный угол и угол места конкретного навигационного спутника тоже известен. В разработанном аппаратном комплексе используется видеокамера, снабженная объективом типа «рыбий глаз» с углом зрения, равным 170° . Поскольку оптическая ось камеры ориентирована вертикально вверх, то возникает необходимость защиты камеры от атмосферных осадков типа дождь, снег. Эта задача решена посредством размещения камеры в боксе, снабженным автоматически управляемой крышкой. Выбор системы автоматического управ-

ления крышкой бокса опирался на условия оптимальности управления и минимизации количества механических узлов (редукторов, электродвигателя) обладающих невысокой антикоррозионной способностью. Была выбрана схема, работающая по принципу «перекидная крышка». Суть этого принципа заключается в том, что в самой крышке жестко установлен постоянный магнит, а перемещение крышки обеспечивают два электромагнита, один из которых работает на открывание, а другой на закрывание. При этом в крайних положениях из-за взаимного притяжения пара «магнит/электромагнит» ведут себя как защелки. Электромагниты подключаются с нужной полярностью к накопительному конденсатору, имеющему емкость 4700 мкФ и заряжаемому до напряжения 31 В. Выбранная конструкция электромагнитов, имеющих индуктивность около 10 мГн, и величина накапливаемой энергии конденсатора позволяют надежно перемещать крышку бокса в нужное положение. Для позиционирования использовался одночастотный 12 канальный приемник Garmin-172, установленный в Мурманске. Радиосигналы с приемника через COM порт поступали в компьютер. При обработке принятой с навигационных спутников информации использовалась программа VisualGPSXP. Камера всего неба для синхронной регистрации форм полярных сияний может управляться в ручном режиме, а также автоматически. Для захвата видео изображения с камеры всего неба используется программа iuVCR версии v4.17.0.408. Данное приложение позволяет решить проблему зеркального отображения запада и востока принимаемой картинки с камеры с помощью использования встроенного фильтра uiLab Mirror. Применение фильтра Alparysoft Deinterlace Filter повышает четкость принимаемого изображения с камеры. Для совмещения изображений расположения спутников и расположения полярных сияний используется возможность операционной системы делать окна прозрачными. Для задействования этой функции применяется утилита Glass2k. Программное средство CamStudio v2.0 позволяет записать с экрана область, где протекает интересующий процесс.

Таким образом, полученные результаты позволяют для конкретных моментов времени и конкретных величин геомагнитного возмущения привязать области среды распространения информационно-навигационных радиосигналов, пораженные неоднородностями электронной плотности, визуальным проявлением которых являются полярные сияния, к маршруту плавания или месту проведения специальных работ. Это, в свою очередь, позволяет спланировать упреждающие действия по дублированию или комплексированию систем радиосвязи и радионавигации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: спутниковая навигация, авроральные возмущения, полярные сияния, точность позиционирования

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Калитёнков Николай Васильевич, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГТУ»
Милкин Владимир Иванович, доцент ФГОУ ВПО «МГТУ»
Калитёнков Антон Николаевич, начальник отдела ФГОУ ВПО «МГТУ»
Гурин Алексей Валентинович, доцент ФГОУ ВПО «МГТУ»
Черноус Сергей Александрович, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник ФГОУ ВПО «МГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13, ФГОУ ВПО «МГТУ»

РАДИОСВЯЗЬ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ. БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ В АРКТИКЕ

ФГОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»

**В.И. Милкин, Н.В. Калитёнков, А.Н. Калитёнков, А.В. Гурин,
Н.С. Загороднева, Д.А. Амелкин**

RADIO COMMUNICATIONS IN HIGH LATITUDES. SAFETY OF NAVIGATION IN THE ARCTIC
«Murmansk state technical university»

V.I. Milkin, N.V. Kalitenkov, A.N. Kalitenkov, A.V. Gurin, N.S. Zagorodneva, D.A. Amelkin

The problem of the use of active vibrators on the basis of Z-elements as receiving and transmitting antennas with the possibility of operating the plane of polarization changes in the received/radiated signal is solved.

Keywords: Z-antenna, the ionosphere, radio wave propagation, the polarization of radiosignal

Решена задача об использовании активных вибраторов на базе Z-элементов в качестве приемопередающих антенн с возможностями оперативного изменения плоскости поляризации принимаемого/излучаемого радиосигнала.

Ориентация плоскости поляризации радиоволны при ионосферном распространении изменяется, что приводит к ослаблению принимаемого радиосигнала за счет так называемого поляризационного рассогласования. Наиболее актуальна эта задача для повышения эффективности работы РТС в бассейне Арктики. Поляризация принимаемой или излучаемой радиоволны определяется направлением электрической составляющей поля волны. Различают радиоволны с линейной горизонтальной поляризацией, когда вектор электрического поля радиоволны направлен параллельно поверхности Земли, радиоволны линейной вертикальной, когда этот вектор перпендикулярен поверхности Земли, и радиоволны с круговой поляризацией. Для антенн с круговой поляризацией потери за счет поляризационного рассогласования отсутствуют. Создание антенн для приема волн с круговой поляризацией в основном базируется на применении спиральных элементов с количеством витков спирали не менее четырех. В целях упрощения конструктивных решений и оперативного изменения направления вращения поляризации используют антенны из турникетных излучателей. Для повышения коэффициента усиления антенн с круговой поляризацией применяют комбинации структур из спиральных и турникетных элементов. Среди классических антенн особое место принадлежит диапазонным зигзагообразным антеннам. Само техническое решение синтеза антенны из Z-элементов уникально тем, что такая антенна, представляясь по конструкции моноантенной, является своеобразной безизоляторной синфазной решеткой, состоящей из восьми активных вибраторов при одной паре точек питания и органическом симметрировании и согласовании с коаксиальными фидерами. Антенное устройство является более широкополосным и обладает большим коэффициентом усиления по сравнению с используемыми активными вибраторами. Дальнейшее совершенствование зигзагообразных антенн привело к созданию двойной треугольной антенны. Z-антенны, несмотря на используемые зигзагообразные элементы конструкций, являются антеннами линейной поляризации. Вопрос о круговой поляризации при работе с такими антеннами всегда считался контрпродуктивным.

Предлагаемое в работе комбинированное построение двойной треугольной антенны позволяет подойти к вопросу о поляризационных свойствах зигзагообразных антенн с другой стороны. Суть предлагаемого решения заключается в изготовлении антенны в виде вписанной в квадрат двойной треугольной антенны. Такая зигзагообразная антенна (рисунок 1) имеет конструкцию в виде квадрата со сторонами из оснований незамкнутых витков, выполненных в форме равнобедренных треугольников 1, 2, 3 и 4, вписанных в квадрат. Смежные стороны равнобедренных треугольников являются общими и образуют половины диагоналей квадрата 5, 6, 7 и 8. Незамкнутые в центре четыре образовавшихся конца являются клеммами а и б, в и г двух источников питания 9 и 10 подключаемых перекрестно в центры диагоналей 5-6, 7-8.

Предложенная зигзагообразная антенна работает следующим образом. Наведённый источником питания 9 ток протекает, например, от точки «а» по полудиагонали 5, раздваиваясь на основания треугольников 1 и 3 и далее, через основания треугольников 4 и 2, складываясь на полудиагонали 6, течет в точку «б». При синфазном включении источников питания, наведённый источником питания 10, ток от точки «в», при сдвиге фаз в 0° , одновременно с током из точки «а», течет по полудиагонали 7, раздваиваясь на основания треугольников 1 и 4 и далее, через основания треугольников 3 и 2, складываясь на полудиагонали 8, течет в точку «г». Таким образом, на верхней и нижней сторонах квадрата токи будут течь в противоположных направлениях, компенсиру-

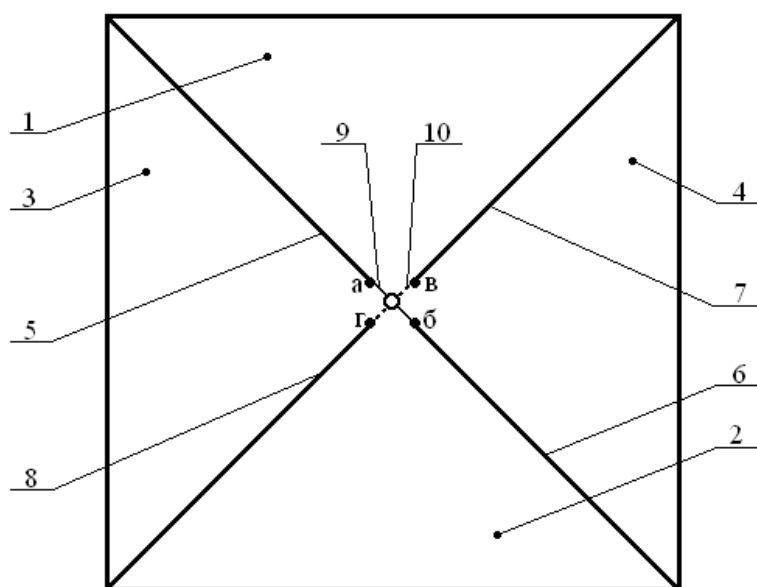


Рисунок 1 – Эскиз предлагаемой антенны

ясь, а на боковых стенках квадрата токи будут течь в одинаковых направлениях, удваиваясь и обеспечивая работу антенны в режиме вертикальной поляризации. При противофазном включении источников питания, наводимые одним из источников питания токи будут противоположны и, соответственно, на тех участках, на которых при синфазном включении токи складываются, будут вычитаться, а на тех участках, на которых компенсируются, будут складываться. Таким образом, при изменении фаз токов на 180° поляризация предлагаемой антенны изменится на 90° , то есть антенна будет работать в режиме горизонтальной поляризации, что также отличает предлагаемую антенну от прототипа. В режиме круговой поляризации антенна будет работать со сдвигом фаз между источниками питания в 90° и в зависимости от опережения или отставания фаз одного из источников питания относительно другого будет реализована круговая поляризация с правой или левой стороной вращения плоскости поляризации.

Названные выше качества антенны и ее эффективность подтверждают результаты электронного моделирования, проведенного в среде MMANA. Диаграммы направленности и основные электрические характеристики антенны в разных режимах работы представлены на рисунках ниже. На рисунке 2 представлены диаграммы направленности и основные параметры предлагаемой антенны при работе в режиме вертикальной поляризации. На рисунке 3 приведены диаграммы направленности и основные параметры предлагаемой антенны при работе в режиме с горизонтальной поляризацией. На рисунке 4 представлены результаты моделирования обеих составляющих а)-горизонтальная и б)-вертикальная составляющие, что соответствует режиму круговой поляризации. Электронное моделирование показало также, что уменьшенный раздельно по графикам на 3 dBd коэффициент усиления, при суммировании, дает одно и то же усиление антенны в разных режимах, что является еще одним подтверждением уникальности полученных в работе результатов.

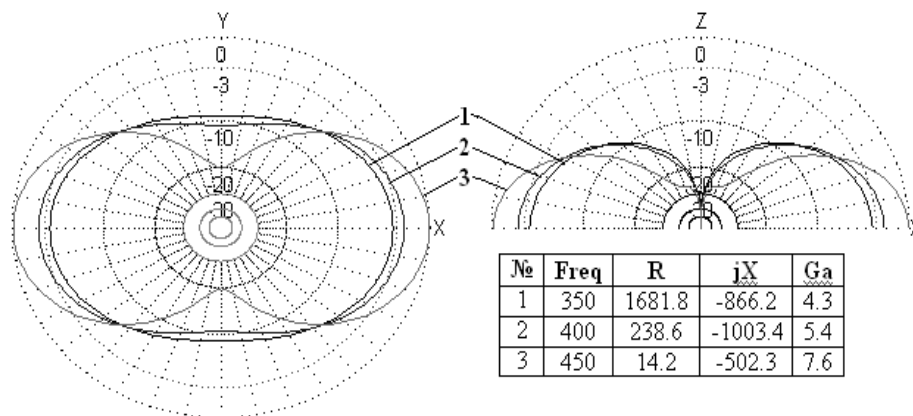


Рисунок 2 – Диаграммы направленности и основные параметры предлагаемой антенны с вертикальной поляризацией

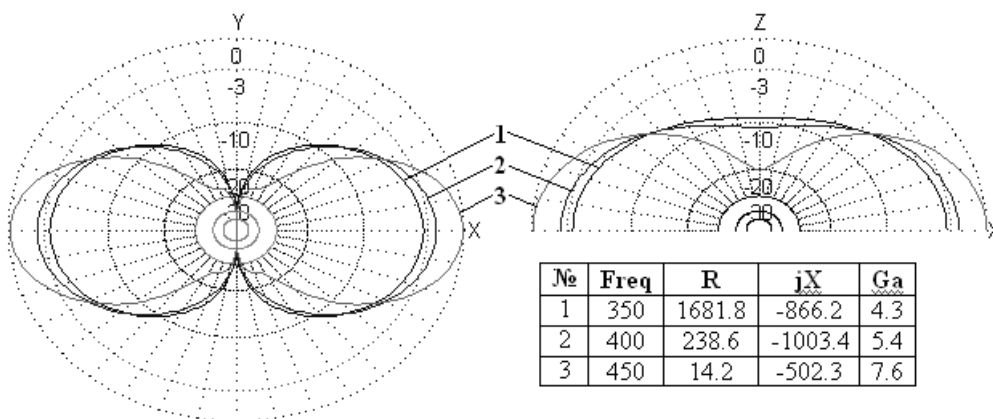
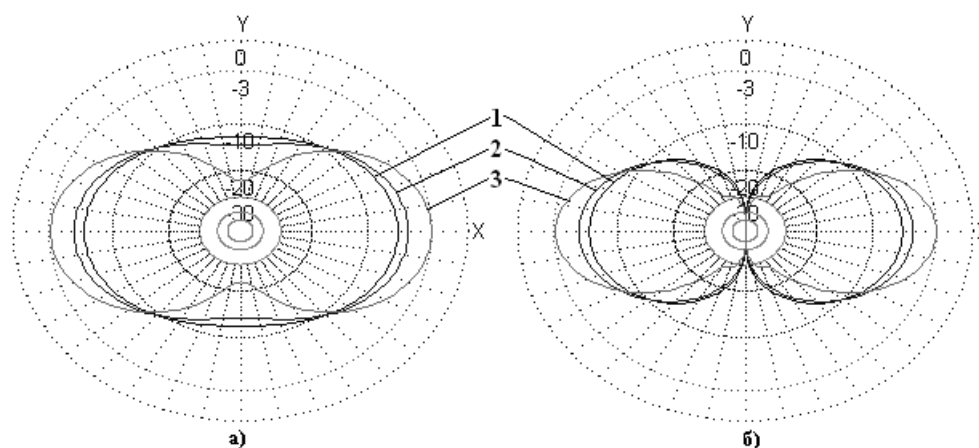


Рисунок 3 – Диаграммы направленности и основные параметры предлагаемой антенны с горизонтальной поляризацией



Freq	R	jX	Ga
350	1681.8	-866.2	4.3
400	238.6	-1003.4	5.4
450	14.2	-502.3	7.6

Рисунок 4 – Диаграммы направленности и основные параметры предлагаемой антенны с круговой поляризацией: а)-вертикальная плоскость; б)-горизонтальная плоскость

Возможности изменять направление плоскости поляризации антенны при приеме или при излучении радиосигнала от вертикального до горизонтального, а также принимать/излучать радиосигнал круговой поляризации без изменения основных параметров антенны могут быть широко использованы в различных РТС, в том числе и специального назначения. В частности, они могут найти применение в спутниковых системах связи, в системах связи с подвижными объектами.

Выводы. Предлагаемые инновационная антенна и способ подключения питания обеспечивают возможность ее оперативного использования при работе в отдельных режимах: с вертикальной, с горизонтальной и с круговой поляризацией. Коэффициент усиления антенны как при круговой, так и при линейных поляризациях остается постоянным.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Z-антенна, ионосфера, распространение радиоволн, поляризация радиоизлучения

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Милкин Владимир Иванович, доцент ФГОУ ВПО «МГТУ»

Калитёнков Николай Васильевич, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГТУ»

Калитёнков Антон Николаевич, начальник отдела ФГОУ ВПО «МГТУ»

Гурин Алексей Валентинович, доцент ФГОУ ВПО «МГТУ»

Загороднева Наталья Сергеевна, студент ФГОУ ВПО «МГТУ»

Амелькин Дмитрий Андреевич, студент ФГОУ ВПО «МГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13, ФГОУ ВПО «МГТУ»

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ ОБЪЕКТА В АТМОСФЕРЕ

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

А.Н. Никулин

THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE RANGE OF VISIBILITY IN THE ATMOSPHERE

«Volga state academy of water transport»

A.N. Nikulin

The theory of visibility of a real object, and the possibility of increasing the estimated coefficient of atmospheric transparency are considered.

Keywords: range of visibility of the object, atmosphere

Рассмотрена теория дальности видимости реального объекта и возможность увеличения расчетного коэффициента прозрачности атмосферы.

Вопросы видимости или невидимости, способности нашего зрения различать тот или иной объект в данной обстановке – все это имеет важное значение для безопасной работы

морского и речного флота, несмотря, даже, на наличие систем глобального позиционирования и существующих на их основе навигационных систем, которые значительно облегчают ориентировку судоводителей.

Дальность видимости световых сигналов и сигнальных фигур зависит как от геометрических факторов, так и от состояния атмосферы. В связи с этим видимость делят на геометрическую и оптическую, а расстояние до объекта наблюдения называют соответственно геометрической и оптической дальностями видимости.

Геометрическая дальность видимости зависит от рельефа местности, наличия препятствий, а также от сферичности земной поверхности. Геометрическую дальность видимости принято также называть дальностью открытия. Численное значение дальности открытия с учетом явления рефракции земной атмосферы определяется выражением [1]

$$D = 3850(\sqrt{H} + \sqrt{h}), \text{ м}, \quad (1)$$

где H, h – уровни рассматриваемого предмета и глаза наблюдателя над поверхностью земли или воды соответственно, м.

Факторы, определяющие видимость сигналов, обычно разделяют на три группы:

1 *Свойства наблюдаемого объекта и фона.* В случае наземных светоотражающих объектов сюда относятся: цвет, форма, угловые размеры объекта и контраст между объектом и фоном. Для сигнальных огней наиболее существенны сила света и цвет.

2 *Свойства атмосферы.* С оптической точки зрения атмосфера является мутной средой. В мутной среде происходят следующие оптические явления:

- поглощение проходящего через среду светового потока,
- свечение самой среды за счет рассеяния света (так называемая вуалирующая дымка).

3 *Свойства человеческого глаза.* Наши зрительные ощущения обуславливаются световыми излучениями, попадающими на сетчатку глаза. Достигая поверхности сетчатки, световой поток поглощается веществами светочувствительных клеток, вызывая их выцветание.

Процесс адаптации зрения органов зрения к различным условиям яркости источников света и отражающих свет объектов складывается из целого ряда условий:

- адаптация за счет изменения диаметра зрачка;
- переход от дневного зрения к сумеречному (ахроматическому);
- концентрация светочувствительного вещества в сетчатке;
- изменение чувствительности центральной нервной системы.

Современная теория дальности видимости объектов исходит из понятия о контрасте яркости между объектом и фоном. Пусть объект, имеющий яркость B_o , проектируется на фоне, имеющем яркость B_ϕ . Тогда под термином контраст понимается выражение:

$$K = \frac{B_\phi - B_o}{B_\phi} \text{ при } B_\phi > B_o,$$

либо

$$K = \frac{B_o - B_\phi}{B_o} \text{ при } B_o > B_\phi. \quad (2)$$

Дальность видимости обычно сводят к расчету контраста яркости между объектом и фоном. При этом предполагается, что объект становится неразличим для зрения, если отличие его яркости от яркости фона становится меньше определенного числа ε , называемого порогом различительной или контрастной чувствительности зрения. Пороги контрастной чувствительности подразделяются на порог обнаружения контраста, порог исчезновения и порог узнавания.

Порог обнаружения характеризует минимально различимый пороговый контраст яркостей, когда яркости объекта и фона близки между собой, но глаз все же замечает различие между ними.

Порог исчезновения характеризует неразличимый пороговый контраст, при котором яркости объекта и фона настолько близки между собой, что глаз не замечает различия между ними.

Порогу узнавания соответствует такая минимальная разность в яркостях между объектом и фоном, которая позволяет опознать объект.

В реальной атмосфере воспринимаемая яркость объекта зависит от расстояния между объектом и наблюдателем. При увеличении этого расстояния темные объекты постепенно

светлеют, а светлые темнеют. Это объясняется тем, что реальная атмосфера рассеивает свет.

Для решения задачи по определению дальности видимости объектов в атмосфере необходимо знать, по какому закону изменяется наблюдаемый контраст удаленного объекта под воздействием вуалирующего эффекта атмосферной дымки. Эта закономерность описывается так называемым световоздушным уравнением полученным следующим образом. Предполагая, что на протяжении своей длины слой S оптически однороден. Пусть на границу S слоя (рисунок) падает световой поток данной плотности. На расстоянии x от границы выделим элементарный слой.

Яркость $d\beta'$ слоя dx будет пропорциональна освещенности E этого слоя и интенсивности рассеяния света $\rho(\theta)$.

$$d\beta' = \rho(\theta)Edx, \quad (3)$$

где $\rho(\theta)$ – функция, зависящая от количества и размеров аэрозолей, взвешенных в слое dx , и от направления визирования на этот слой;

E – освещенность слоя dx , лк

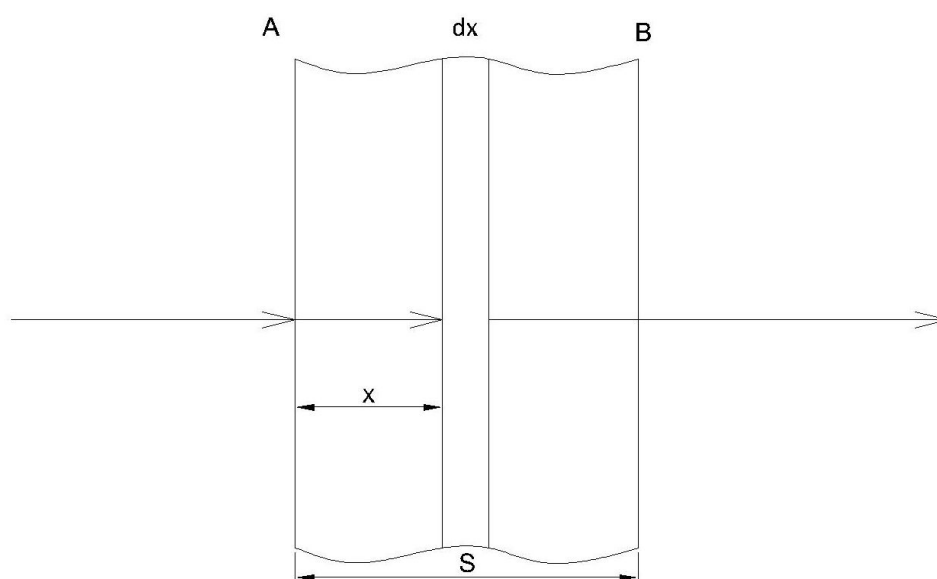


Рисунок – К выводу световоздушного уравнения

На пути от A до dx , световой поток будет ослабляться за счет рассеяния в среде и действительная яркость слоя будет меньше, чем получается по выражению (3).

Ослабление светового потока на указанном отрезке пути подчиняется закону Бугера, на основании которого действительная яркость слоя dx будет равна

$$d\beta = \rho(\theta)E \exp(-\alpha x)dx, \quad (4)$$

где α – показатель ослабления атмосферы.

Полную яркость слоя S получим путем интегрирования в пределах всего слоя

$$\beta_s = \int_0^S d\beta = \rho(\theta)E \int_0^S \exp(-\alpha x)dx = \frac{\rho(\theta)E}{\alpha} [1 - \exp(-\alpha S)]. \quad (5)$$

Для упрощения выражения (5) обозначим $\frac{\rho(\theta)E}{\alpha} = N$, в результате получим

$$\beta_s = N[1 - \exp(-\alpha S)]. \quad (6)$$

Выражение (6) и есть искомое световоздушное уравнение, характеризующее изменение яркости атмосферной дымки в зависимости от толщины слоя S . Следует заметить, что слой S считается оптически однородным. Такое предположение исключает применимость (6) к наклонным направлениям.

В физическом смысле выражение $\rho(\theta)E/\alpha$ характеризует состояние яркостного «насыщения» слоя S . При значительном помутнении атмосферы яркость приземного слоя в горизонтальном направлении, как показывает опыт, на протяжении нескольких километров дей-

ствительно достигает состояния насыщения и при дальнейшем увеличении слоя практически остается постоянной. Это означает, что яркость приземного слоя атмосферной дымки может быть отождествлена с яркостью неба у горизонта.

Вывод выражения дальности видимости реального объекта можно осуществить при следующих предположениях:

- интенсивность зрительного восприятия объекта определяется контрастом яркости между ним и окружающим его фоном;
- атмосферное помутнение при соответствующих условиях снижает этот контраст до порогового значения;
- атмосферное помутнение, а также условия освещения однородны от точки наблюдения до расстояния, на котором происходит потеря видимости объекта;
- объект имеет угловые размеры не меньше $0,3^\circ$ (на расстоянии дальности видимости).

Закономерность уменьшения контраста наблюдаемого объекта под воздействием дымки до порогового значения происходит вследствие рассеяния света в слое между объектом и наблюдателем, тогда истинная яркость объекта уменьшается с B_o до $B_o \exp(-\alpha S)$, а также из-за вуалирующего эффекта атмосферной дымки, которое пропорционально яркости слоя атмосферы и его толщины S (соответственно световоздушному уравнению), то есть пропорциональное величине $N[1 - \exp(-\alpha S)]$.

Таким образом, если на близком расстоянии наблюдаемый объект имеет истинную, не искаженную дымкой яркость B_o , то на достаточно большом расстоянии S яркость объекта $B_{он}$ под совместным воздействием двух вышеуказанных факторов будет отличаться от B_o и примет значение

$$B_{он} = B_o \exp(-\alpha S) + N[1 - \exp(-\alpha S)]. \quad (7)$$

Яркость $B_{он}$ носит название наблюдаемой или кажущейся яркости.

Совершенно аналогично можно получить выражение для кажущейся яркости $B_{фн}$ любого реального фона

$$B_{фн} = B_\phi \exp(-\alpha S) + N[1 - \exp(-\alpha S)]. \quad (8)$$

Заметим, что второе слагаемое в (7) и (8) искажает собственную яркость объекта и фона значительно сильнее, чем первое.

Заметим еще, что в общем случае расстояние между объектом и фоном может быть различным, вследствие чего значения S , входящие в $B_{он}$ и $B_{фн}$, также могут быть различными. Подставив (7) и (8) в выражение (2) получим

$$K = \frac{B_\phi - B_o}{B_\phi} = 1 - \frac{B_o}{B_\phi} \text{ при } B_\phi > B_o, \quad (9)$$

либо

$$K = \frac{B_o - B_\phi}{B_o} = 1 - \frac{B_\phi}{B_o} \text{ при } B_o > B_\phi. \quad (10)$$

При условии, что $B_\phi > B_o$ получим

$$K = \frac{B_\phi \exp(-\alpha S) + N[1 - \exp(-\alpha S)] - B_o \exp(-\alpha S) - N[1 - \exp(-\alpha S)]}{B_\phi \exp(-\alpha S) + N[1 - \exp(-\alpha S)]}.$$

Разделив дробь на $B_\phi \exp(-\alpha S)$ и принимая во внимание (9), получаем

$$K = \frac{1 - \frac{B_o}{B_\phi}}{1 + \frac{N}{B_\phi} \frac{1 - \exp(-\alpha S)}{\exp(-\alpha S)}} = \frac{K_o}{1 + \frac{N}{B_\phi} [\exp(\alpha S) - 1]}, \quad (11)$$

где K_o – первоначальный, не искаженный атмосферной дымкой контраст между объектом и фоном.

Полученное выражение описывает закономерность изменения контраста по мере увеличения расстояния S между объектом и наблюдателем.

Из (11) следует, что величина контраста K уменьшается до тех пор, пока при соответствующем значении S не достигнет порогового значения $K = \varepsilon_{пор}$.

Это критическое значение S называется дальностью видимости объекта и обозначает-

ся через S_p . Исходя из этого

$$\varepsilon_{пор} = \frac{K_o}{1 + \frac{N}{B_\phi} [\exp(\alpha S_p) - 1]}. \quad (12)$$

Преобразуем (10) путем логарифмирования по основанию e

$$S_p = \frac{1}{\alpha} \ln \left[1 + \frac{B_\phi}{N} \left(\frac{K_o}{\varepsilon_{пор}} - 1 \right) \right]. \quad (13)$$

Выражение (13) является уравнением дальности видимости любого реального объекта.

На основании общей теории дальности видимости, полученного уравнения реальной дальности видимости объекта и проведенных нами натурных исследований реальной дальности видимости навигационных знаков с различными характеристиками, нами разработано предложение о возможности увеличения расчетного коэффициента прозрачности атмосферы до 0,80-0,85. Что дает возможность увеличения расстояния между навигационными знаками на ряде участков, без снижения безопасности судоходства на них.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гаврилов, В.А. Видимость в атмосфере / В.А. Гаврилов. -Л., 1966. -323 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дальность видимости объекта, атмосфера

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Никулин Артем Назарович, аспирант ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ НАХОЖДЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО МЕСТА СУДНА В ЗАДАННОМ СЕКТОРЕ

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет
им. адм. Г.И. Невельского»

Ю.А. Комаровский

PROBABILITY ESTIMATION FOR VESSEL'S ACTUAL POSITION FALLING WITHIN A GIVEN SECTOR

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

Yu.A. Komarovskiy

We have derived formulas for calculating the probability of the vessel's location falling within the area of the error ellipse bounded by two straight lines running through the ellipse's center.

Keywords: probability, ellipse of error, true vessel's location

Сделан вывод формул для вычисления вероятности того, что истинное место судна принадлежит области эллипса погрешностей, ограниченной двумя прямыми, исходящими из центра эллипса.

Ряд навигационных задач требует знания вероятности того, что место судна, полученное с помощью спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Навстар GPS или Глонасс, расположено в определенном направлении, которое задаётся сектором. В заданном секторе может располагаться навигационная опасность или объект поиска.

Обратимся к рисунку. Пусть φ и λ -обсервованные широта и долгота соответственно фазового центра антенны судового приёмника СРНС (точка А). Координаты φ и λ являются геодезическими, отсчитываемые от экватора и от Гринвичского меридиана соответственно.

Будем считать, что координаты φ и λ определяются с погрешностями, распределёнными по закону Гаусса. Тогда плотность вероятности нахождения действительного места судна на плоскости выразится известной формулой (1)

$$f(\varphi, \lambda) = \frac{1}{2\pi \sigma_\varphi \sigma_\lambda \sqrt{1-r^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-r^2)} \left[\frac{(\varphi - \varphi_{cp})^2}{\sigma_\varphi^2} - \frac{2r(\varphi - \varphi_{cp})(\lambda - \lambda_{cp})}{\sigma_\varphi \sigma_\lambda} + \frac{(\lambda - \lambda_{cp})^2}{\sigma_\lambda^2} \right] \right\}, \quad (1)$$

где $\sigma_\varphi, \sigma_\lambda$ – средние квадратические отклонения (СКО) случайных величин φ и λ ,

$$\sigma_{\varphi} = \sqrt{\int_{-\pi/2}^{\pi/2} (\varphi - \varphi_{cp})^2 f(\varphi) d\varphi}; \sigma_{\lambda} = \sqrt{\int_{-\pi}^{\pi} (\lambda - \lambda_{cp})^2 f(\lambda) d\lambda};$$

$\varphi_{cp}, \lambda_{cp}$ – математические ожидания случайных величин φ и λ ,

$$\varphi_{cp} = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \varphi f(\varphi) d\varphi; \lambda_{cp} = \int_{-\pi}^{\pi} \lambda f(\lambda) d\lambda;$$

r – коэффициент корреляции случайных величин φ и λ ,

$$r = \frac{K_{\varphi\lambda}}{\sigma_{\varphi} \sigma_{\lambda}};$$

$K_{\varphi\lambda}$ – корреляционный момент,

$$K_{\varphi\lambda} = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_{-\pi}^{\pi} (\varphi - \varphi_{cp})(\lambda - \lambda_{cp}) f(\varphi, \lambda) d\varphi d\lambda.$$

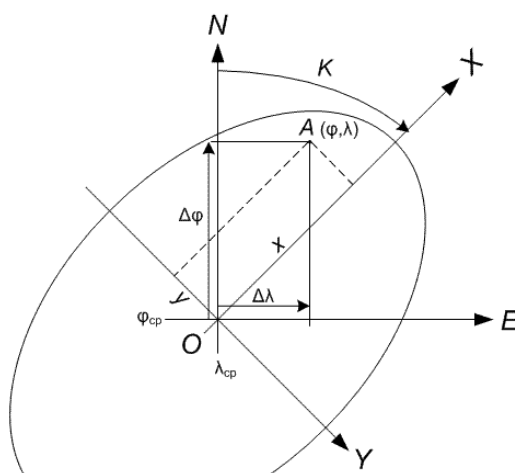


Рисунок – Связь между геодезическими и линейными координатами

Перейдём от географических координат точки А к линейным координатам в системе NOE. Начало системы координат NOE совпадает с математическими ожиданиями φ_{cp} и λ_{cp} , а линейные масштабы вдоль осей в отличие от системы географических координат будут равны. В системе NOE абсциссой точки А будет $\Delta\lambda$, а ординатой – $\Delta\varphi$. Формулы для преобразования геодезических координат φ, λ в линейные $\Delta\lambda, \Delta\varphi$ представлены ниже

$$\Delta\varphi = (\varphi - \varphi_{cp})' I_m; \Delta\lambda = (\lambda - \lambda_{cp})' I_p; I_m = \frac{a(1-e^2)\text{arc}1'}{\sqrt{(1-e^2\sin^2\varphi_{cp})^3}}; I_p = \frac{a\cos\varphi_{cp}\text{arc}1'}{\sqrt{1-e^2\sin^2\varphi_{cp}}},$$

где $(\varphi - \varphi_{cp}), (\lambda - \lambda_{cp})$ – разности, в угловых минутах;

I_m, I_p – длины одной угловой минуты меридиана и параллели соответственно в широте φ_{cp} , м;

a – большая полуось референц-эллипсоида, м;

e – первый эксцентриситет референц-эллипсоида [1].

Полученные случайные величины $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ будут центрированными со средними квадратическими отклонениями $\sigma_{\Delta\varphi}$ и $\sigma_{\Delta\lambda}$ соответственно

$$\sigma_{\Delta\varphi} = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \Delta\varphi^2 f(\Delta\varphi) d\Delta\varphi}; \sigma_{\Delta\lambda} = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \Delta\lambda^2 f(\Delta\lambda) d\Delta\lambda}.$$

Понятно, что

$$\sigma_{\Delta\varphi} = \sigma_{\varphi} I_m; \sigma_{\Delta\lambda} = \sigma_{\lambda} I_p.$$

Коэффициент корреляции $r_{\Delta\varphi\Delta\lambda}$ и корреляционный момент $K_{\Delta\varphi\Delta\lambda}$ случайных величин $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ будут иметь следующую запись

$$r_{\Delta\varphi\Delta\lambda} = \frac{K_{\Delta\varphi\Delta\lambda}}{\sigma_{\Delta\varphi}\sigma_{\Delta\lambda}}; K_{\Delta\varphi\Delta\lambda} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta\varphi\Delta\lambda f(\Delta\varphi, \Delta\lambda) d\Delta\varphi d\Delta\lambda.$$

Коэффициент корреляции задаёт угол K , который образуется от пересечения большей оси симметрии фигуры рассеивания обсервованных точек с меридианом. В судовождении принято угол K отсчитывать от северной части истинного меридиана по ходу часовой стрелки. Так как ранее сделано предположение о распределении случайных координат φ и λ по закону Гаусса, то угол K определяется следующей формулой [2, 4]

$$\operatorname{tg} 2K = \frac{2K_{\Delta\varphi\Delta\lambda}}{\sigma_{\Delta\varphi} - \sigma_{\Delta\lambda}}; K = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{2K_{\Delta\varphi\Delta\lambda}}{\sigma_{\Delta\varphi} - \sigma_{\Delta\lambda}} \right).$$

Следовательно, если оси симметрии фигуры рассеивания обсервованного места совпадают с осями координат или параллельны им, то есть $K = 0$, то коэффициент корреляции также будет равен нулю. Чтобы достичь равенства коэффициента корреляции нулю, достаточно выбрать новую систему координат XOY , оси которой будут совпадать с осями симметрии фигуры рассеивания. Для этого преобразуем линейные координаты $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ системы NOE в линейные координаты x и y соответственно системы XOY с помощью следующих формул перехода

$$x = \Delta\varphi \cos K + \Delta\lambda \sin K; y = -\Delta\varphi \sin K + \Delta\lambda \cos K.$$

После такого преобразования координат формула (1) плотности вероятности нахождения действительного места антенны судового GPS-приёмника на плоскости примет вид (2)

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} \right) \right], \quad (2)$$

где σ_x, σ_y – средние квадратические отклонения случайных величин x и y .

$$\sigma_x = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} x^2 f(x) dx}; \sigma_y = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} y^2 f(y) dy}.$$

Если числитель в круглых скобках экспоненты формулы (2) приравнять числу c^2 , то получим уравнение эллипса в каноническом виде. Если $c = 1$, то имеет место такой эллипс рассеивания, внутри которого находится действительное место антенны судового GPS-приёмника с вероятностью 0,393. Такой эллипс имеет полуоси a и b , равные σ_x и σ_y соответственно, и называется единичным эллипсом погрешностей [2]. Если $c = 2$, то вероятность будет равна 0,865. Полным эллипсом рассеивания называют такой эллипс погрешностей, полуоси которого равны учетверённым СКО σ_x и σ_y . При полном эллипсе погрешностей вероятность нахождения действительного места антенны судового GPS-приёмника на плоскости за его пределами равна 0,03. Размеры полуосей эллипса погрешностей и вероятность P нахождения действительного места антенны судового GPS-приёмника в нём связывают следующие формулы [2, 3]

$$\frac{x^2}{(c\sigma_x)^2} + \frac{y^2}{(c\sigma_y)^2} = 1; c \cdot \sigma_x = a; c \cdot \sigma_y = b; P = 1 - \exp \left(-\frac{c^2}{2} \right). \quad (3)$$

В навигации принято оценивать точность обсерваций с вероятностью 0,95. Из формул (3) следует, что такой вероятности соответствует $c = 2,44775$.

Вероятность нахождения действительного места судна в пределах некой площадки внутри эллипса погрешностей больше, нежели вероятность нахождения в пределах такой же площадки вне эллипса. Вероятность нахождения действительного места судна внутри эллипса погрешностей больше, чем вероятность нахождения в любой другой фигуре с той же площадью.

Формулы (2) и (3) позволяют оценить вероятность нахождения действительного места судна внутри эллипса погрешностей с заданными размерами полуосей. Получим оценку вероятности нахождения действительного места судна в фигуре заданного сектора, ограниченного линией эллипса. Пусть интересующий сектор находится между двумя направлениями ψ_1 и ψ_2 , которые отсчитываются от оси X против хода часовой стрелки. По аналогии с меридианным эллипсом будем называть направления ψ геоцентрическими. Пусть точка A с координатами x и y находится внутри сектора. Пусть геоцентрическое направление на точ-

ку А будет ψ , а расстояние от центра до точки А будет ρ . Обозначим через t параметрическое направление на точку А. Связь между параметрическим направлением и геоцентрическим направлением устанавливают следующие выражения [5]

$$\frac{x}{y} = \operatorname{tg} \psi = \frac{b}{a} \operatorname{tg} t; \operatorname{tg} t = \frac{a}{b} \operatorname{tg} \psi.$$

Сделаем переход от прямоугольных координат точки А к её эллиптическим координатам с помощью формул

$$x = \rho \cos \psi = \rho a \cos t; y = \rho \sin \psi = \rho b \sin t.$$

Отсюда уравнение эллипса получит следующий вид

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1; \frac{(a \rho \cos t)^2}{a^2} + \frac{(b \rho \sin t)^2}{b^2}; \rho^2 \cos^2 t + \rho^2 \sin^2 t = 1; \rho^2 = 1; \rho = 1; \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = \rho^2.$$

Запишем якобиан $J(\rho, t)$ перехода к эллиптической системе координат

$$J(\rho, t) = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial \rho} & \frac{\partial x}{\partial t} \\ \frac{\partial y}{\partial \rho} & \frac{\partial y}{\partial t} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a \cos t & -a \rho \sin t \\ b \sin t & b \rho \cos t \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos t & -\sin t \\ \sin t & \cos t \end{vmatrix} = a \cdot b \cdot \rho.$$

С учётом полученного и формулы (2) получим выражение вероятности нахождения действительного места судна внутри сектора, ограниченного линией эллипса

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{ab2\pi} \iint_D \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right) \right] dx dy = \frac{1}{ab2\pi} \iint_D \exp \left[-\frac{\rho^2}{2} \right] ab \rho d\rho dt = \frac{1}{2\pi} \int_{t_1}^{t_2} dt \int_0^1 \exp \left(-\frac{\rho^2}{2} \right) \rho d\rho = \\ &= \frac{1}{2\pi} t \Big|_{t_1}^{t_2} \left[-\exp \left(-\frac{\rho^2}{2} \right) \right]_0^1 = \frac{1}{2\pi} (t_2 - t_1) \left[1 - \exp \left(-\frac{1}{2} \right) \right] = \frac{1}{2\pi} \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{a}{b} \operatorname{tg} \psi_2 \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{a}{b} \operatorname{tg} \psi_1 \right) \right] \left(1 - \frac{1}{\sqrt{e}} \right) = \\ &= \frac{\sqrt{e} - 1}{2\pi\sqrt{e}} \operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{a}{b} \operatorname{tg} \psi_2 - \frac{a}{b} \operatorname{tg} \psi_1}{1 + \frac{a}{b} \operatorname{tg} \psi_2 \cdot \frac{a}{b} \operatorname{tg} \psi_1} \right) = \frac{\sqrt{e} - 1}{2\pi\sqrt{e}} \operatorname{arctg} \left[\frac{ab(\operatorname{tg} \psi_2 - \operatorname{tg} \psi_1)}{b^2 + a^2 \operatorname{tg} \psi_2 \cdot \operatorname{tg} \psi_1} \right] = \\ &= \frac{\sqrt{e} - 1}{2\pi\sqrt{e}} \operatorname{arctg} \left[\frac{ab \sin(\psi_2 - \psi_1)}{b^2 \cos \psi_1 \cos \psi_2 + a^2 \sin \psi_1 \sin \psi_2} \right] = \\ &= \frac{\sqrt{e} - 1}{\sqrt{e}} \operatorname{arctg} \left[\frac{\sqrt{1 - \varepsilon^2} \sin(\psi_2 - \psi_1)}{\cos(\psi_2 - \psi_1) - \varepsilon^2 \cos \psi_1 \cos \psi_2} \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

В формуле (4) ε означает первый эксцентриситет эллипса.

Отсюда формула для вычисления вероятности нахождения действительного места судна во всём секторе получит следующий вид

$$P = \operatorname{arctg} \left(\frac{\sqrt{1 - \varepsilon^2} \sin(\psi_2 - \psi_1)}{\cos(\psi_2 - \psi_1) - \varepsilon^2 \cos \psi_1 \cos \psi_2} \right). \quad (5)$$

Полученные формулы (4) и (5) намного проще, нежели формулы для вычисления вероятностей нахождения действительного места судна в секторе, приведённые в книге [6].

Автор считает своим долгом выразить благодарность С.В. Коркишко за помощь в подготовке данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Department of Defense World Geodetic System 1984 / DMA Technical Report TR 8350.2. - 2th ed. U.S. Geological Survey, Oct., 1993. -152 p.
- 2 Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. -2-е изд., перераб. и испр. -М.: Физматлит, 1962. -564 с.
- 3 Кондрашихин, В.Т. Теория ошибок и её применение к задачам судовождения / В.Т. Кондрашихин. -М.: Транспорт, 1969. -256 с.
- 4 Груздев, Н.М. Оценка точности морского судовождения / Н.М. Груздев. -М.: Транспорт, 1989. -191 с.
- 5 Каврайский, В.В. Избранные труды. Т.1. Астрономия и геодезия / В.В. Каврайский. -Л.:

Упр. гидрограф. службы ВМФ СССР, 1956. -358 с.

6 Попеко, Г.П. Курс кораблевождения. В 6 т. Т.1. Навигация / Г.П. Попеко, Е.П. Соломатин. -Л.: Упр. гидрограф. службы ВМФ СССР, 1961. -679 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вероятность, эллипс погрешностей, действительное место судна

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ПОГРЕШНОСТИ ПРИЁМНИКА GARMIN GPS-128 ПРИ ЧАСТИЧНОМ ЗАТЕНЕНИИ СИГНАЛОВ СПУТНИКОВ

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет
им. адм. Г.И. Невельского»

В.А. Кац, Ю.А. Комаровский

COORDINATE ERRORS FOR THE GPS-RESEIVER GARMIN-128 UNDER PARTIAL BLOCKING OF THE SATELLITES SIGNALS

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

V.A. Katz, Yu.A. Komarovskiy

Using the envelope method we have obtained the error distribution characteristics for the observed coordinates along different directions. It was discovered that the maximum errors approaching 43 m with the probability of 0,95 shift toward the object blocking the signals from satellites.

Keywords: GPS-receiver, envelope method, error distribution, blocking the signals

С помощью контурного метода получены характеристики распределения погрешностей обсервованных координат по различным направлениям. Обнаружено, что максимальные погрешности, достигающие до 43 м с вероятностью 0,95, смещаются в сторону объекта, создающего препятствия сигналам спутников.

Навигационный приёмник спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Навстар GPS Garmin GPS-128 эксплуатируется на многих судах прибрежного плавания. Таким судам по роду своей деятельности приходится сближаться вплотную к берегу зачастую в условиях ограниченной видимости. Как известно, судовые РЛС на малых шкалах дальности малопригодны для обеспечения безопасного маневрирования непосредственно у берега. Поэтому судоводители в таких ситуациях полагаются на подробные электронные карты и электронные планшеты. На них высвечивается текущее место судна, координаты которого предоставляются приёмниками СРНС Навстар GPS. Высокие берега создают препятствия распространению сигналов спутников. Это неизбежно должно ухудшать точность определения координат GPS-приёмником. В отечественной и зарубежной литературе не обнаружены сведения о теоретических и экспериментальных исследованиях влияния рельефа берегов на точность определения координат судовыми GPS-приёмниками.

Традиционные статистические оценки точности, основанные на предположении о Гауссовском распределении погрешностей координат, в рассматриваемой ситуации непригодны. С помощью радиальных среднеквадратических оценок и эллипсов погрешностей задачу определения того, как распределяются величины погрешностей обсервованных координат в зависимости от направления на препятствие, решить невозможно. Цель данной статьи заключается в экспериментальной проверке эффективности предложенного в работе [1] контурного метода оценки точности для исследования влияния препятствий сигналам спутников СРНС Навстар GPS. Этот метод не зависит от вида закона распределения погрешностей координат и от вида статистической связи между погрешностями. Кроме того, такой подход и основанные на нём расчёты не зависят от присутствия систематических погрешностей в определяемых координатах. Для пояснения применяемого метода обратимся к рисунку 1.

На рисунке 1 точками изображены обсервованные места неподвижной антенны приёмника СРНС Навстар GPS. Точка О соответствует средним значениям широты и долготы, полученным за длительный период непрерывных наблюдений. Представим, что вся плоскость горизонта, на которую нанесены обсервации, разделена на k равных секторов, которые имеют общие границы и не перекрывают друг друга. На рисунке 1 показан i -тый сектор, чья биссектриса направлена по пеленгу α , который отсчитывается от северной части меридиана-

на по ходу часовой стрелки от 0 до 360°. Внутри i -того сектора содержится N_i наблюдений.

Зададимся величиной радиуса-вектора r_i . Тогда отношение количества наблюдений n_i , лежащих внутри треугольника OBD, к общему числу наблюдений N_i , принадлежащих i -тому сектору, даст частоту

$$p_i = \frac{n_i}{N_i},$$

которая будет точечной оценкой вероятности того, что фактическое место неподвижной антенны приёмника СРНС Навстар GPS находится внутри треугольника OBD. Оценка p_i является случайной величиной. Частота p_i будет по вероятности сходиться к p_r , если $N_i \rightarrow \infty$. Индекс r свидетельствует о том, что вероятность p_r соответствует r_i . Следовательно, задаваясь конкретной величиной вероятности p_r , и варьируя длиной радиуса r , можно отыскать такой радиус r_i , при котором величина отношения n_i/N_i будет как можно ближе к p_r . В этом случае каждый сектор имеет присущую ему длину радиуса r_i . Поэтому результатом вычислений по всем k секторам будет k -мерный вектор r радиусов, которые в общем случае имеют разные длины

$$r = |r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_k|.$$

Если соединить прямыми линиями концы соседних радиусов, то получим замкнутую ломаную линию, которая образует фигуру, характеризующую распределение погрешностей определения места неподвижной антенны по любому избранному пеленгу.

Пусть

n_{ri} — число обсервованных точек, принадлежащих контуру и его границе, соответствующее радиусу-вектору r при заданной вероятности p_r ;

N_i — общее число обсервованных точек в секторе i ,

$$n_{ri} = \sum_{i=1}^k n_i; N = \sum_{i=1}^k N_i.$$

Докажем, что при

$$\sum_{i=1}^k N_i \rightarrow \infty,$$

отношение n_{ri}/N_i будет сходиться по вероятности к p_r , то есть

$$\lim_{N_i \rightarrow \infty} \frac{n_{ri}}{N_i} = \lim_{N_i \rightarrow \infty} \frac{\left(\sum_{i=1}^k n_i \right)}{\left(\sum_{i=1}^k N_i \right)} = p_r.$$

Пусть

$$\frac{n_{ri}}{N_i} = p_r + \alpha_i(N_i),$$

где

$$\alpha_i(N_i) \rightarrow 0 \text{ при } N_i \rightarrow \infty.$$

Следовательно

$$n_{ri} = p_r N_i + \alpha_i(N_i) N_i.$$

Отсюда

$$\frac{\sum_{i=1}^k n_i}{\sum_{i=1}^k N_i} = \frac{\sum_{i=1}^k [p_r N_i + N_i \alpha_i(N_i)]}{\sum_{i=1}^k N_i} = \frac{p_r \sum_{i=1}^k N_i}{\sum_{i=1}^k N_i} + \frac{\sum_{i=1}^k N_i \alpha_i(N_i)}{\sum_{i=1}^k N_i} = p_r + \beta,$$

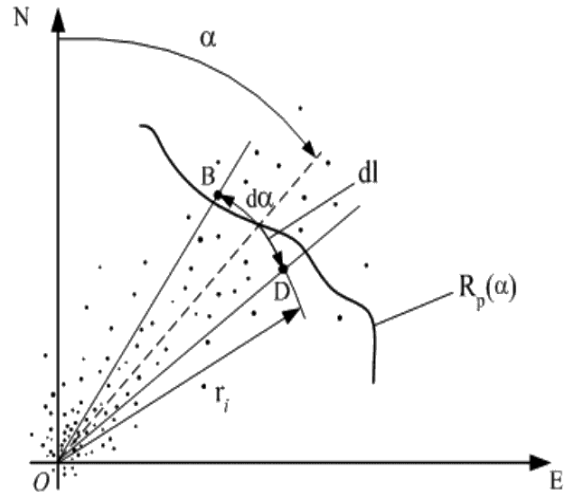


Рисунок 1 – Основы контурного метода оценки точности

где

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^k N_i \alpha_i(N_i)}{\sum_{i=1}^k N_i} |\beta| \leq \frac{\sum_{i=1}^k N_i |\alpha_i(N_i)|}{\sum_{i=1}^k N_i} \leq \frac{\max_{1 \leq i \leq k} |\alpha_i(N_i)| \times \sum_{i=1}^k N_i}{\sum_{i=1}^k N_i} = \max_{1 \leq i \leq k} |\alpha_i(N_i)|.$$

Если $\min_{1 \leq i \leq k} N_i \rightarrow \infty$ при $\sum_{i=1}^k N_i \rightarrow \infty$, то, очевидно, $\beta \rightarrow \infty$ при $\sum_{i=1}^k N_i \rightarrow \infty$, что эквивалентно

$$\frac{\sum_{i=1}^k n_i}{\sum_{i=1}^k N_i} \rightarrow p_r, \text{ при } \sum_{i=1}^k N_i \rightarrow \infty.$$

Когда $k \rightarrow \infty$, то ломанная линия, соединяющая концы радиусов-векторов r_i , будет приобретать более плавные очертания, формируя замкнутый контур, ограничивающий часть плоскости, внутри которой находится фактическое место антенны GPS-приёмника с заданной вероятностью p_r . Таким образом, величина r_i служит мерой рассеивания обсервованных координат GPS-приёмника в направлении биссектрисы данного сектора. Понятно, что чем больше r_i , тем с меньшей точностью определяются координаты по данному направлению. Следовательно, рассмотренный контурный метод можно применять для оценки точности определения координат при возникновении объектов (конструкций судна, портовых сооружений, зданий, рельефа местности), создающих физические препятствия на пути распространения сигналов спутников до антенны приёмника СРНС.

Рассмотренный метод был апробирован в работе [2] и применялся затем в работе [3] для оценки влияния места установки антенны GPS-приёмника на его точность.

Для анализа эффекта затенения сигналов спутников были взяты экспериментальные наблюдения за работой приёмника Garmin GPS-128, выполненные с 26 июля по 25 августа 2003 года в институте защиты моря Морского государственного университета. Антенна приёмника была установлена над крышей пристройки к учебному корпусу №2. Фронтон учебного корпуса №2 представлял собой препятствие сигналам спутников с высотой до 20° над горизонтом в секторе пеленгов от 300° до 340° . Фиксация обсервованных координат и соответствующего им момента времени производилась без перерывов автоматически каждые две секунды с записью на жёсткий диск персонального компьютера. Информация на компьютер записывалась в формате NMEA 0183. Всего было получено 1 242 116 обсервованных координат.

На первом этапе обработки были рассчитаны по всей полученной выборке величины средних значений широты φ_{cp} и долготы λ_{cp} , а также их средние квадратические погрешности (СКП) σ_φ и σ_λ в угловой мере

$$\varphi_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi_i; \lambda_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \lambda_i; \sigma_\varphi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\varphi_i - \varphi_{cp})^2}{N}}; \sigma_\lambda = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\lambda_i - \lambda_{cp})^2}{N}}, \quad (1)$$

где φ_i, λ_i – текущие обсервованные геодезические широта и долгота в системе координат WGS-84 соответственно;

N – объём выборки (1 242 116 значений).

Сравнение средних значений обсервованных координат с координатами антенны, полученными независимым геодезическим способом с точностью $\pm 0,5$ м, показало, что средняя широта отстоит на 2,14 м к югу, а средняя долгота – на 1,85 м к востоку. Можно предположить, что обнаруженное несовпадение скорее следует отнести на счёт инструментальных погрешностей приёмника Garmin GPS-128, нежели на счёт влияния препятствий сигналам спутников. Тем не менее, пеленг обнаруженной невязки прямо противоположен пеленгу на препятствие.

Приёмник Garmin GPS-128 выводил в формате NMEA обсервованные координаты с разрядностью до тысячных долей минуты. Этой разрядности недостаточно для построения точного контура погрешности. Поэтому в дальнейшей обработке данных применялась процедура сглаживания методом простого скользящего среднего. С помощью сглаживания искусственно увеличивалась разрядность, а также частично устранялись случайные погрешности обсервованных координат, возникающие за счёт мерцания ионосферы [4].

При выполнении процедуры сглаживания выбирался из всего массива наблюдений координат ряд последовательных отсчётов широт $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_n$. Будем называть число n шириной окна сглаживания. Пусть φ_i соответствует середине окна сглаживания. Сглаженным значением широты, соответствующим φ_i , будет φ_{sm} [5]

$$\varphi_{sm} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_i + \dots + \varphi_n}{n}.$$

Если $n \rightarrow \infty$, то φ_{sm} будет сходиться к величине систематической погрешности определения широты, так как математическое ожидание случайной погрешности будет стремиться к нулю на основании первого свойства случайной величины [6]. Если при той же ширине окна сглаживания выполнить осреднение для $i+1$ середины и т.д., то в итоге получим сглаженный временной ряд, длина которого будет на n короче исходного временного ряда. Такую процедуру принято называть простым линейным сглаживанием временного ряда с помощью скользящего среднего [5]. Эта процедура была использована для обсервованных широт и долгот приёмника Garmin GPS-128, полученных с 26 июля по 25 августа 2003 г., при ширине окна сглаживания 1 мин. и 2 мин., как это уже применяли авторы в прежних работах [7, 8].

Результаты сглаживания можно оценить с помощью таблицы. В ней содержатся рассчитанные по формулам (1) параметры распределения широт и долгот исходного массива данных, а также сглаженных за 1 мин. и за 2 мин. массивов.

Таблица – Параметры обсервованных и сглаженных координат Garmin GPS-128

Параметры распределений	Исходный массив	Сглаженные массивы	
		за 1 минуту	за 2 минуты
Средняя широта, мин.	0,169843	0,169843	0,169843
СКП широты, мин.	0,001118	0,001041	0,000987
СКП широты, м	2,07	1,93	1,83
Средняя долгота, мин.	0,023366	0,023366	0,023366
СКП долготы, мин.	0,001149	0,001084	0,001044
СКП долготы, м	1,56	1,47	1,42

Анализ таблицы позволяет сделать вывод о том, что сглаживание не изменяет величины средних широт и долгот. Уменьшаются только СКП координат. Средняя квадратическая погрешность широты уменьшилась на 0,24 м (11,6%) после сглаживания с окном в 2 мин. СКП долготы уменьшилась на 0,14 м (8,9%). Следовательно, обсервованная широта подвержена большему влиянию случайных погрешностей по сравнению с обсервованной долготой.

На следующем этапе по формулам (2) произведён переход от угловых сглаженных координат φ_{smi} и λ_{smi} к линейным координатам x_i и y_i с одинаковыми линейными масштабами вдоль осей X и Y с одновременным центрированием,

$$x_i = (\lambda_{smi} - \lambda_{cp}) I_p; y_i = (\varphi_{smi} - \varphi_{cp}) I_m, \quad (2)$$

где $\varphi_{cp}, \lambda_{cp}$ – данные из таблицы;

I_p, I_m – длины в метрах дуги одной минуты параллели и дуги одной минуты меридиана соответственно.

При вычислении I_p и I_m для референц-эллипсоида WGS-84 использовались простые и, в то же самое время, высокоточные формулы, полученные в работе [9] с помощью биномиальных коэффициентов.

На последнем этапе расчётов вычислялось количество обсерваций, принадлежащих каждому из 72 смежных секторов шириной в 5 градусов. Левая граница первого сектора совпадала с направлением на истинный север. Правая граница каждого сектора ему не принадлежала. По каждому сектору определялось такое расстояние r от начала координат, при котором отношение количества обсерваций, отстоящих на расстоянии r_i от начала координат до r , к общему количеству обсерваций в данном секторе было равно 0,68 и 0,95. Затем эти расстояния откладывались по биссектрисам 72 секторов. Так были получены контуры погрешностей сглаженных обсервованных координат приёмника Garmin GPS-128, представленные на рисунке 2. Внутренние контуры соответствуют вероятности 0,68.

На рисунке 2 видно, как контур погрешностей вытягивается в сторону препятствия сигналам спутников СРНС Навстар GPS. Это явление можно видеть как на контурах, соответ-

ствующих вероятности 0,95, так и на контурах, соответствующих вероятности 0,68. Для вероятности 0,95 контуры погрешностей располагаются вблизи 20 м, если направления не совпадают с направлением на препятствие. В направлении на препятствие мера рассеивания координат достигает 43 м.

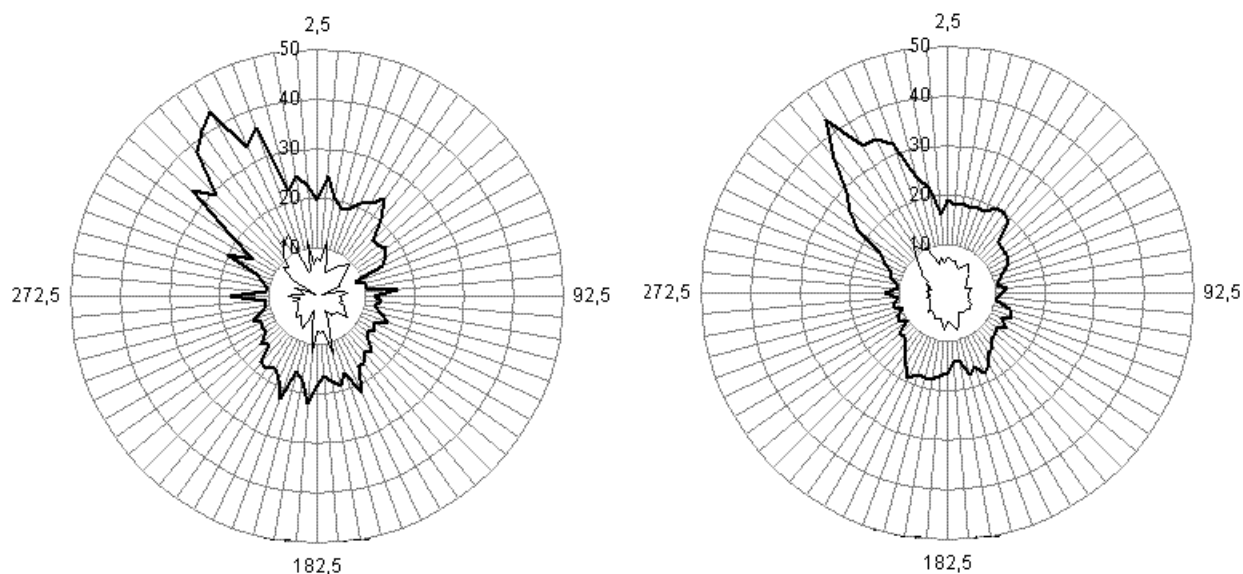


Рисунок 2 – Контурные погрешностей приёмника Garmin GPS-128 для сглаживания за 1 минуту (слева) и за 2 минуты

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы и предложения.

1 Обнаружен факт того, что обсервованные координаты в большей степени рассеиваются в сторону препятствия. Иными словами, при подходе к возвышенному берегу текущее обсервованное место, выводимое на электронную карту или электронный планшет, чаще всего будет располагаться ближе к берегу по сравнению с действительным местом судна. Это явление будет вовремя предупреждать штурмана об опасности. Здесь необходимо помнить о существовании обширной области в северной части небосвода шириной до 80° , где нет спутников СРНС Навстар GPS [10]. Поэтому при подходе судна с юга высокому берегу нечего затенять. Следовательно, можно предположить, что в этой ситуации контур погрешностей не будет содержать выступа в сторону севера, и судно может опасно сблизиться с берегом. При движении на юг к высокому берегу следует ожидать самого большого выступа в контуре погрешностей.

2 Использование эллипса погрешностей в данном исследовании не позволило получить информацию о распределении погрешностей координат по направлениям. Вид контуров погрешностей рисунка 2 не располагает к принятию эллипса в качестве наиболее приемлемой фигуры погрешностей для оценки точности обсерваций с помощью приёмников СРНС.

3 Сравнение контуров погрешностей рисунка 2 позволяет сделать вывод о значительном влиянии случайной компоненты погрешностей координат. Сглаживания за 1 минуту оказывается явно недостаточным.

4 Только при сглаживании за 2 минуты наблюдается наступление конгруэнтности контуров для вероятностей 0,95 и 0,68. Здесь следует выполнить отдельное исследование, направленное на поиск наиболее эффективного способа сглаживания координат приёмника Garmin GPS-128.

5 Необходимо продолжить экспериментальные исследования с целью оценки влияния на точность обсервованных координат такого направления на препятствие, при котором будут наблюдаться максимальные погрешности определения места судна при подходе к берегу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Комаровский, Ю.А. Контурный метод оценки точности ОМС приёмником СРНС Навстар GPS / Ю.А. Комаровский // Вестн. Мор. гос. ун-та. Сер. Судовождение. -Владивосток,

2005. -Вып.9. -С. 10-13.

2 Кац, В.А. Контур погрешностей координат GPS-приёмника / В.А. Кац, Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№1. -С. 133-137.

3 Кац, В.А. Влияние места установки антенны GPS-приёмника на точность определения координат / В.А. Кац, Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. - 2008. -№2. -С. 112-115.

4 Комаровский, Ю.А. Оценка влияния мерцания ионосферы на случайные погрешности координат GPS-приёмника GP-37 / Ю.А. Комаровский // Солнечная активность и её влияние на Землю: тр. Уссурийск. астрофиз. обсерватории. -Владивосток, 2009. -Т.12, -Вып.12. -С. 60-69.

5 Андерсон, Т. Статистический анализ временных рядов / Т. Андерсон. -М.: Мир, 1976. - 755 с.

6 Кондрашихин, В.Т. Теория ошибок и её применение к задачам судовождения / В.Т. Кондрашихин. -М.: Транспорт, 1969. -256 с.

7 Кац, В.А. Уточнение границ контура погрешностей координат GPS-приёмника GP-37 / В.А. Кац, Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№1. -С. 175-179.

8 Кац, В.А. Оценка точности плановых координат GPS-приёмника GP-270ML контурным методом / В.А. Кац, Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. - 2010. -№1. -С. 124-128.

9 Комаровский, Ю.А. Точные вычисления пройденных расстояний на земных эллипсоидах / Ю.А. Комаровский // Современные проблемы развития и методики преподавания естественных и точных наук: материалы Всерос. науч.-практ. конф. 16-18 дек. 2009 г. / УГПИ. - Уссурийск, 2009. -С. 154-161.

10 Комаровский, Ю.А. Четыре проблемы использования Навстар GPS / Ю.А. Комаровский // Безопасность судоходства в Дальневосточном бассейне: сб. докл. науч.-практ. конф. 24-25 окт. 2007 г., Владивосток / Мор. гос. ун-т. -Владивосток, 2007. -С. 207-214.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: GPS-приёмник, контурный метод, распределение погрешностей, затенение сигналов
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кац Владимир Александрович, инженер ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
 Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

АКТИВНАЯ ИОНОСФЕРНАЯ АНТЕННА. БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ МОРСКОГО РАЙОНА А4

ФГОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»

Н.В. Калитёнков, В.И. Милкин, А.Н. Калитёнков, А.В. Гурин

IONOSPHERIC ACTIVE ANTENNA. SAFETY OF NAVIGATION IN THE NORTHERN PART OF THE SEA
 «Murmansk state technical university»
 N.V. Kalitenkov, V.I. Milkin, A.N. Kalitenkov, A.V. Gurin

Beams of electrons precipitating into the ionosphere and the invading oriented along the direction of the geomagnetic field inhomogeneity of the electron density in the ionosphere can play the role of active ionospheric antenna.

Keywords: ionosphere, the electron beams, the ionospheric antenna

Пучки вторгающихся в ионосферу электронов и ориентированные вдоль направления геомагнитного поля неоднородности электронной концентрации в ионосфере могут играть роль активной ионосферной антенны.

Информацию о параметрах и структуре высокоширотной ионосферы как среды распространения радиосигналов получают как с помощью наземной аппаратуры, так и с помощью приборов, установленных на борту ракет и космических аппаратов [1]. На основании проводившихся в разное время и в разных странах экспериментов магнитоориентированные неоднородности принято делить на неоднородности F слоя и неоднородности E слоя ионо-

сферы. Одной из важнейших характеристик таких неоднородностей является их распределение по высоте. Установлено, что область неоднородностей E -слоя располагается на высотах 100-130 км, а толщина неоднородного слоя меняется от 2 до 20 км. Также важное значение имеет вопрос о размерах и форме авроральных неоднородностей. Ориентированные вдоль геомагнитного поля неоднородности E слоя представляют собой, в основном, структуры с резкими (для декаметрового диапазона волн – это расстояния меньшие и сравнимые с длиной волны 10-100 м) границами и перепадом концентрации, достигающим 100%. Максимальная длина неоднородностей вдоль направления магнитного поля Земли в E слое составляет несколько сотен метров. Говоря о параметрах неоднородностей F слоя, следует отметить, что географическое положение неоднородностей F -слоя ионосферы тесно связано с положением зоны неоднородностей E -слоя. Установлено, что неоднородности F -слоя ионосферы сильно вытянуты вдоль направления геомагнитного поля, имеют резкие границы, большой разброс размеров и флуктуаций электронной плотности, достаточно большие времена жизни и расположены, в основном, в зоне овала полярных сияний. Перепад концентраций у этих неоднородностей также может достигать 100%. Вторым, крайне важным свойством полярной ионосферы является ее неравновесность. Неравновесность обусловлена потоками заряженных частиц, вторгающимися в ионосферу во время авроральных суббурь. Многочисленные спутниковые, ракетные и наземные эксперименты, проводившиеся в разные годы, как в нашей стране так и за рубежом, позволяет сформировать вполне определённые представления о структуре электронных высыпаний в различных областях высокоширотной ионосферы и, в частности, в области овала полярных сияний. Весьма показательными в этом отношении является, на наш взгляд, данные об основных параметрах высыпавшихся в ионосферу электронных потоков, полученные в измерениях, проведенных на ракетах, запускавшихся в США и в Норвегии. Во время пролетов ракет через ионосферу, последняя могла находиться как в спокойном так и в возмущенном состоянии. Визуальным индикатором возмущенности при этом являлись полярные сияния. Параметры энергетических спектров и питч-угловых распределений вторгающихся электронных потоков существенно зависели от степени возмущенности. Так при пролетах ракеты через дискретные формы полярных сияний регистрировались пучки электронов с энергиями около 2 кэВ, практически коллимированные вдоль направления магнитного поля, а потоки электронов с энергией 5 кэВ были почти изотропны. В другом таком пролете регистрировался коллимированный вдоль магнитного поля Земли пучок электронов с энергией около 4,8 кэВ, в то время как электроны с энергиями 3,3 кэВ и 5,6 кэВ имели изотропное питч-угловое распределение. Энергия коллимированных вдоль геомагнитного поля пучков электронов лежит в пределах от 0,5 до 5 кэВ.

Для рассматриваемых маршрутов плавания и дислоцируемых объектов радиоволна на нисходящем участке траектории может падать на неоднородность электронной концентрации под углом, превышающим угол полного внутреннего отражения. При этом развивается целый ряд явлений, которые необходимо учитывать при ведении радиосвязи.

Система уравнения Максвелла в этом случае разделяется на две подсистемы, описывающие так называемые H - и E -волны. Для E -волн будем иметь

$$\begin{cases} \partial H_y / \partial z = -ik_0 \varepsilon E_x; \\ \partial H_y / \partial x = -ik_0 \varepsilon E_z; \\ \partial E_x / \partial z - \partial E_z / \partial x = -ik_0 H_y, \end{cases}$$

где $k_0 = \omega/c$; $\varepsilon = 1 - \frac{4\pi e^2 N}{m\omega^2} = 1 - \nu$.

Полагая, что граница между неоднородностью электронной концентрации и фоновой плазмой резкая, данную подсистему уравнений можно привести к одному уравнению

$$\partial^2 H_y / \partial z^2 - (k_z^2 - k_0^2 \varepsilon) H_y = 0.$$

Ограничимся рассмотрением случая, когда $k_z^2 > k_0^2 \varepsilon$ и введем обозначение $\xi = k_z^2 - k_0^2 \varepsilon$. Решение записанного уравнения имеет вид

$$H_y^\phi = [A \exp(\xi_\phi x) + B \exp(-\xi_\phi x)] \exp[i(\omega t - k_z z)],$$

где $\xi_\phi = k_z^2 - k_0^2 \varepsilon_\phi$; $\varepsilon_\phi = 1 - \frac{4\pi e^2 N_\phi}{m\omega^2} = 1 - \nu_\phi$.

Это выражение определяет магнитное поле радиоволны, распространяющейся в фоновой плазме. Аналогичное выражение может быть получено и для поля волны, распространяющейся в плазме неоднородности

$$H_y^H = [c \exp(\xi_H x) + D \exp(-\xi_H x)] \exp[i(\omega t - k_z z)],$$

где
$$\xi_H = k_z^2 - k_0^2 \varepsilon_H; \varepsilon_H = 1 - \frac{4\pi e^2 N_H}{m\omega^2} = 1 - \nu_H.$$

Из условия конечности полей при удалении от границы раздела следует $A = D = 0$. С учетом этого будем иметь

$$\begin{cases} H_y^\Phi = [c \exp(-\xi_\Phi x)] \exp[i(\omega t - k_z z)]; \\ H_y^H = [c \exp(-\xi_H x)] \exp[i(\omega t - k_z z)]. \end{cases}$$

Далее можно найти тангенциальные составляющие электрического поля радиоволны E_z по одну и другую стороны от границы

$$\begin{cases} E_z^\Phi = -\xi_\Phi B \exp(-\xi_\Phi x) / i k_0 \varepsilon_\Phi; \\ E_z^H = \xi_H c \exp(\xi_H x) / i k_0 \varepsilon_H. \end{cases}$$

И, наконец, из условия непрерывности тангенциальных составляющих полей на границе раздела (при $x = 0$) получим дисперсионное уравнение для радиоволн, которые распространяются вдоль неоднородности высокоширотной ионосферы. Это уравнение записывается в виде

$$k_z = \sqrt{\frac{\omega^2 (1 - \nu_H)(1 - \nu_\Phi)}{c^2 [2 - (\nu_H + \nu_\Phi)]}},$$

где
$$\nu_\Phi < 1; \nu_H > 1; |1 - \nu_H| > |1 - \nu_\Phi|.$$

Очевидно, что условия распространения радиоволны заданной частоты при наличии неоднородностей высокоширотной ионосферы определяются значениями концентраций фоновой плазмы и плазмы неоднородности. Воспользовавшись дисперсионным уравнением, запишем выражение для фазовой скорости таких радиоволн

$$V_z = \sqrt{\frac{c^2 [2 - (\nu_H + \nu_\Phi)]}{(1 - \nu_H)(1 - \nu_\Phi)}}.$$

Из полученного выражения следует, что фазовая скорость V_z может изменяться в широких пределах, определяемых частотой радиоволны концентрациями фоновой плазмы и плазмы неоднородности. При этом если выполнено условие $(\nu_\Phi + \nu_H) \rightarrow 2$, то фазовая скорость V_z стремится к нулю. Следовательно, в ионосферной плазме при наличии магнитоориентированных неоднородностей электронной плотности и выполнении определенных условий возможно существование медленных продольно-поперечных радиоволн. Степень замедления определяется значениями электронной концентрации плазмы неоднородности и плазмы фоновой. Опираясь на характеристики неоднородностей в E - и F -слоях полярной ионосферы, можно рассчитать величину замедления радиоволн применительно к реальной обстановке. Для исследования процесса замедления распространяющейся радиоволны были выполнены следующие виды расчета:

а) расчет замедления в функции от параметров неоднородности электронной плотности при постоянной частоте передатчика и постоянной концентрации фоновой плазмы.

б) расчет замедления в функции от частоты распространяющейся радиоволны при постоянных концентрациях фоновой плазмы и плазмы неоднородности.

Анализируя зависимость величины фазовой скорости от величины смещения рабочей частоты относительно критической частоты $\omega_{кр} = 2\pi f_{кр}$, можно сделать следующий вывод. Величина замедления, то есть уменьшение фазовой скорости радиоволны по отношению к скорости света, существенно зависит от величины отстройки рабочей частоты относительно критической, причем замедленная радиоволна возникает лишь для частот, меньших критической. Вблизи критической частоты, то есть при незначительных отстройках, фазовая скорость при приближении к величине $f_{кр}$ очень резко падает. Расчет зависимости $f_{кр}$ от электронной концентрации неоднородности и фоновой плазмы показал, что критическая частота

увеличивается при увеличении каждого из названных параметров и для реальных условий высокоширотной ионосферы находится в пределах от 1,5 до 11 МГц. Кроме замедления фазовой скорости волны, неоднородность может переизлучать электромагнитную энергию. Свойство переизлучения зависит от параметров фоновой плазмы и плазмы неоднородности. В данной работе ограничимся рассмотрением вытянутой вдоль магнитного поля земли резкой неоднородности, когда изменение концентрации электронов происходит на расстоянии 10-100 м. Выше показано, что при определенных условиях начинает появляться продольная составляющая электрического поля, направленная по z , что приведет к появлению тока. В этом случае вытянутая неоднородность будет подобна длинному проводнику.

Ток в элементе dz неоднородности, наведенный замедленной радиоволной, может быть представлен в виде

$$I_z = I_0 \exp(-ik_z z),$$

где I_0 – ток в начале координат;

k_z – постоянная распространения,

$$k_z = \sqrt{\frac{\omega^2 (1 - \nu_n)(1 - \nu_\phi)}{c^2 [2 - (\nu_n + \nu_\phi)]}}.$$

Каждый элемент неоднородности создаст в удаленной точке М напряженность поля

$$d\vec{E} = -j \frac{30 k_z I_z h_0}{r} F_1(\varphi) \exp(-jk_z r)$$

где $F_1(\varphi)$ – функция направленности элемента неоднородности.

Действующая высота малого участка неоднородности пропорциональна его длине – $h_0 = q dz$. После подстановки значений I_z, h_0 получено выражение для функции направленности переизлучения неоднородности высокоширотной ионосферы в виде произведения функции направленности элемента неоднородности $F_1(\varphi)$ на функцию направленности решетки ненаправленных элементов как излучателей. Максимум диаграммы такой антенны направлен в сторону движения волны тока. Главный лепесток с увеличением длины неоднородности прижимается к ее оси и сужается. Подбором частоты радиоволны ширину главного лепестка диаграммы направленности можно сузить больше чем в полтора раза, а КПД увеличить более чем в два раза по сравнению со случаем, когда $v = c$.

Плотность неоднородностей электронной концентрации определяется степенью магнитной активности, а их локализация тесно связана с локализацией форм полярных сияний. Максимально резкие неоднородности с перепадом электронной концентрации, достигающей 100%, наблюдаются в местах локализации наиболее интенсивных дискретных форм полярных сияний. Установлено, что общая схема развития суббури в дискретных сияниях тесно связана с суббурей в высыпаниях мягких (≤ 10 кэВ), нередко моноэнергетических, коллимированных вдоль направления геомагнитного поля электронных потоков. Радиоволна с продольной компонентой электрического поля и фазовой скоростью, меньшей скорости света, может взаимодействовать с пучками электронов, вторгающимися в ионосферу во время авроральных суббурь.

Когда моноэнергетический и коллимированный вдоль направления геомагнитного поля (вдоль неоднородности высокоширотной ионосферы как замедляющей структуры) электронный пучок движется со скоростью V_0 и попадает в поле бегущей замедленной радиоволны E_z , то в результате группировки электронов в пучке появляется переменная составляющая тока i_1 , удовлетворяющая уравнению

$$\frac{\partial^2 i_1}{\partial z^2} + 2ik_e \frac{\partial i_1}{\partial z} - k_e^2 i_1 = -\frac{ik_e \rho_0 E_z}{mV_0}.$$

Эта переменная создает свое поле, которое подчиняется уравнению

$$\frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + k_e U = iX_0 \frac{\partial i_1}{\partial z},$$

и взаимодействует с полем радиоволны, усиливая или ослабляя его.

Таким образом, распространение радиоволн КВ диапазона в условиях авроральных суббурь, то есть в неоднородной, неравновесной ионосфере, в первом приближении может быть описано следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 i_1}{\partial z^2} + 2ik_e \frac{\partial i_1}{\partial z} - k_e^2 i_1 = \left(i \frac{k_e \epsilon p_0}{m V_0} \right) \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right); \\ \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + k_z^2 U = i X_0 \frac{\partial i_1}{\partial z}. \end{cases} \quad (1)$$

Если пучок авроральных электронов не модулирован ни по плотности, ни по скорости, а выход неоднородности согласован, то есть нет отраженных волн, то условия, определяющие постоянные интегрирования уравнения, при $z = 0$ имеют вид

$$U = U_{ex}; i_1 = 0; \frac{\partial i_1}{\partial z} = 0.$$

Учитывая, что все переменные изменяются по закону

$$\exp i(\omega t - \bar{k}z),$$

где $\bar{k}$ – постоянная распространения радиоволны в системе «неоднородность высокоширотной ионосферы-пучок авроральных электронов», можно получить условие существования нетривиального решения уравнений (1), которое принимает вид

$$(k_z - \bar{k})^3 (k_z + \bar{k}) = 2k_z^4 \psi^3. \quad (2)$$

В частном случае, когда начальная скорость электронов V_0 равна фазовой скорости замедленной волны, то есть $k_z = k_e$, безразмерная величина $\psi = \sqrt[3]{\frac{Z_0 I_0}{4U_0}}$ меньше 1.

Уравнение (2) имеет три корня $\bar{k}_{1,2,3} \approx k_z$ и один корень $\bar{k}_4 \approx -k_z$. Для первых трех корней уравнения можно приближенно положить $k_z + \bar{k} \approx 2$ и, следовательно, $(k_z - \bar{k})^3 \approx k_z^3 \psi^3$ или $\bar{k}_{1,2,3} \approx k_z - k_z \sqrt[3]{\psi(1)}$ или в развернутом виде

$$\begin{cases} \bar{k}_1 \approx k_z (1 + \psi/2) + ik_z \psi \sqrt{3}/2; \\ \bar{k}_2 \approx k_z (1 + \psi/2) - ik_z \psi \sqrt{3}/2; \\ \bar{k}_3 \approx k_z (1 - \psi); \\ \bar{k}_4 \approx -k_z (1 - \psi^3/4). \end{cases}$$

Из волн, бегущих в одном направлении с электронами, первая (с постоянной распространения $\bar{k}_1$) распространяется медленнее, чем электроны, и возрастает по амплитуде в соответствии с законом $\exp\left(k_z \psi \sqrt{3} \frac{z}{2}\right)$. Ток будет нарастать, интенсивность излучения в указанных направлениях будет увеличиваться. На рисунке 1а-1в показаны нормированные ДН такого излучателя.

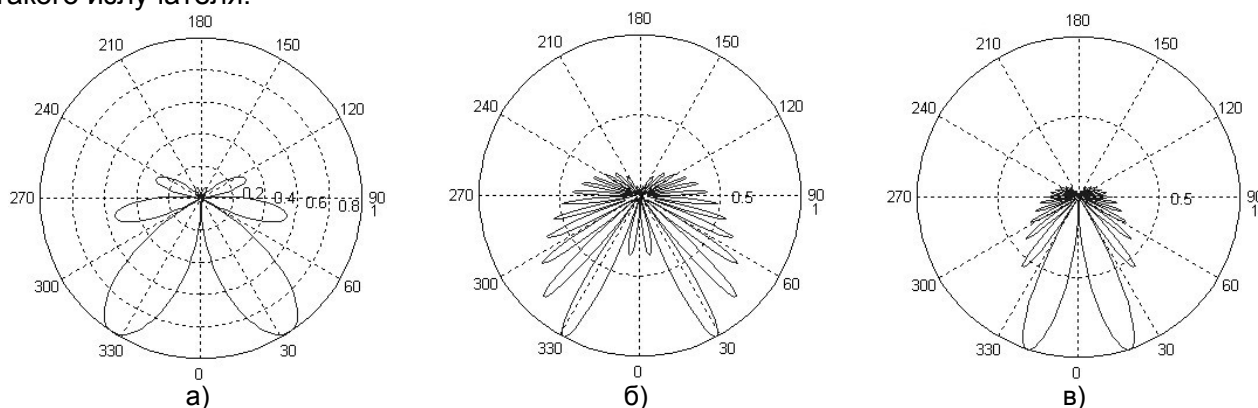


Рисунок – Нормированная ДН вытянутой неоднородности, направление 0 совпадает с направлением линии магнитного поля Земли: а)-длина неоднородности составляет порядка 10 длин волн частоты рабочего диапазона, фазовая скорость волны равна 0,9 с; б)-длина неоднородности составляет порядка 40 длин волн частоты рабочего диапазона, фазовая скорость волны равна 0,9 с; в)-длина неоднородности составляет порядка 40 длин волн частоты рабочего диапазона, фазовая скорость волны равна 0,99 с

Таким образом, при плавании в северной части морского района А4, в частности по Северному морскому пути, пучки вторгающихся в ионосферу электронов и ориентированные вдоль направления геомагнитного поля неоднородности электронной плотности в ионосфере могут играть роль активной ионосферной антенны. При организации и ведении радиосвязи выявленные особенности важны, и их необходимо учитывать.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ионосфера, пучки электронов, ионосферная антенна

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Калитёнков Николай Васильевич, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГТУ»

Милкин Владимир Иванович, доцент ФГОУ ВПО «МГТУ»

Калитёнков Антон Николаевич, начальник отдела ФГОУ ВПО «МГТУ»

Гурин Алексей Валентинович, доцент ФГОУ ВПО «МГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13, ФГОУ ВПО «МГТУ»

НОВЫЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ДВИЖЕНИЯ СУДНА НА УСТАНОВИВШЕЙСЯ ТРАЕКТОРИИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.В. Саленек

THE NEW APPROACH TO THE DESCRIPTION OF MOVEMENT OF THE VESSEL ON THE ESTABLISHED TRAJECTORY
«Novosibirsk state academy of water transport»

V.V. Salenек

The correlation between the dimensionless parameters describing the motion of the vessel on an established trajectory.

Keywords: steady circulation, the motion parameters, the angle of the drift, radius

Показана взаимосвязь между безразмерными параметрами при описании движения судна на установившейся траектории.

На протяжении довольно продолжительного времени мне всё более и более надоедал вопрос, который я сам себе задавал: «Почему так «некрасива» теория движения судна на криволинейной траектории и особенно даже в той её геометрически «красивой» части, которую принято называть установившейся циркуляцией.

Понятно-то подспудное объяснение этого факта, что определение усилий на таких сложных и разнообразных судовых формах (корпус, ДРК), при движении в косом потоке, учёт их прямого и обратного взаимовлияния, влияние при этом внешних факторов и приводит к этой «некрасивости».

С другой стороны, что может быть внешне проще и красивее при криволинейном движении судна, чем его движение на установившейся циркуляции. Значит все эти трудно учитываемые факторы (а потому не точно учитываемые в теории) так в итоге природой взаимно складываются, что судно движется так просто.

Подобные рассуждения неизбежно приводят к мысли, что должно быть более изящное описание движения судна на установившейся циркуляции.

Описание криволинейного движения судна в плоскости принято проводить с помощью общеизвестных параметров $\Omega = \frac{L}{R}$, $\Theta = \frac{V}{V_0}$ и β . Они служат для оценки различных характе-

ристических управляемости судна и для сравнения судов между собой. Ясно, что эти параметры жёстко связаны между собой (то есть изменение одного из них неизбежно приводит к изменению двух других), а значит должна существовать функциональная связь между ними. Кстати, об этом говорил мой учитель – незабвенный В.Г. Павленко. Частично к таким выражениям можно отнести выражения для определения угла дрейфа в корме судна и определения положения кажущегося центра вращения по диаметральной плоскости (ДП) судна [1, 2]. Однако эти выражения функционально связывают только два из трёх указанных параметров (β и Ω) и вводят в рассмотрение дополнительные величины β_k и χ_k (угол дрейфа в корме судна и отстояние кажущегося центра вращения от центра тяжести судна). Обратим внимание на второе из указанных выражений, а именно [1]:

$$\sin \beta = \bar{\chi}_k \cdot \Omega, \quad (1)$$

или, используя допущение о малости угла дрейфа

$$\beta \cong \bar{x}_k \cdot \Omega, \quad (2)$$

где

$$\bar{x}_k = x_k / L.$$

В существующей научной литературе положение кажущегося центра вращения определяется как где-то впереди форштевня по ДП судна на пологих циркуляциях и только при самых крутых циркуляциях он может оказаться в пределах корпуса судна.

Рассматривая любую диаграмму управляемости судна, можно заметить, что количественное различие между величинами β и Ω при приближении к началу координат уменьшается то есть $\bar{x}_k \rightarrow 1$, но и $\Theta = V/V_0$ при этом так же стремится к единице. Это наводит на мысль, а не существует ли связи между $\bar{x}_k$ и Ω во всём диапазоне криволинейных движений судна в виде

$$\bar{x}_k = \Theta. \quad (3)$$

Это предположение неизбежно приводит к заманчивой функциональной связи между параметрами β , Ω и θ в виде

$$\sin \beta = \Theta \cdot \Omega, \quad (4)$$

или

$$\beta \cong \Theta \cdot \Omega \quad (5)$$

Для этого останется доказать равенство (3). Запишем его в виде

$$x_k / L = V / V_0, \quad (6)$$

или

$$L / V_0 = x_k / V. \quad (7)$$

В выражении (7), как известно [1]

$$x_k = R \cdot \sin \beta; \quad (8)$$

$$V = V_y / \sin \beta = V_x / \cos \beta. \quad (9)$$

Подставляя в (7) выражение (8) и поочерёдно выражения (9), получим

$$\frac{L}{V_0} = \frac{R \cdot \sin^2 \beta}{V_y}, \quad (10)$$

или

$$\frac{L}{V_0} = \frac{R \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}{V_x}. \quad (11)$$

Так как в выражениях (10) и (11) левые части одинаковы, значит равны и правые части этих выражений, что приводит к выражениям (после очевидных преобразований)

$$\operatorname{tg} \beta = V_y / V_x; \operatorname{ctg} \beta = V_x / V_y. \quad (12)$$

Выражения (12) прямо следуют из геометрии криволинейного движения судна, что и доказывает, по нашему мнению, правомочность выражений (4) или (5).

Имея это в виду, и подставляя в выражение (5) известное эмпирическое выражение Павленко В.Г.-Гордеева О.И. [1], связывающее θ и Ω , получим

$$\beta = \frac{\Omega}{(1 + 2,7 \cdot \Omega^2)^{2/3}}. \quad (13)$$

Выражение (13) является аналогом выражения связывающего β и Ω , полученного в результате решения уравнений установившегося движения и названного основной корпусной характеристикой судна [2]. Кстати, в этом месте Павленко В.Г. была предпринята попытка, путём аппроксимации основной корпусной характеристики, получить выражение, связывающее β и Ω не через характеристики корпусных усилий, а в «чистом» виде. Далее следует сказать, что многократные расчёты, проведённые автором, для различных грузовых судов показали почти полное совпадение результатов, полученных по выражению, названному основной корпусной характеристикой и выражению (13), что тоже может служить доказательством правильности предположения (4) или (5).

Использование выражения (4) или (5) открывает следующие возможности:

1 Расчёт диаграммы управляемости судна (в части поворотливости) может быть произведён по системе следующих трёх выражений, которая является замкнутой:

$$\begin{cases} \Theta = (1 + n \Omega^2)^{-2/3}; \\ \beta = \Theta \Omega; \\ \alpha_r = H_r (\beta + \chi \Omega). \end{cases} \quad (14)$$

Последнее выражение в системе (14) получено автором в работе [3]. Индивидуальность судна при этом будет сказываться через числовой коэффициент n (оставляя показатели Ω и скобки неизменными), в первом уравнении системы (14). В выражении Павленко В.Г.-Гордеева О.И. (13) этот коэффициент принят равным 2,7. Кроме того, что более существенно, характеристики поворотливости будут зависеть от суммарного коэффициента влияния корпуса и движителя на рулевой орган – x_r , как это видно из третьего выражения системы (14). Надо сказать, что в настоящее время влияние корпуса и движителя на рулевой орган изучено недостаточно и учитывается зачастую схематично.

Попутно следует заметить, что на диаграмме управляемости судна есть две замечательные точки, а именно: точка пересечения зависимостей $\Theta = f(\alpha_r)$ и $\Omega = f(\alpha_r)$ и точка пересечения зависимостей $\Theta = f(\alpha_r)$ и $\Omega = f(\alpha_r)$. Отсюда следует, что в первой точке $\theta = \Omega$, а во второй $\theta = \beta$ и выражение (5) для этих точек принимает вид

$$\beta = \Theta^2 \text{ и } \Omega = 1. \quad (15)$$

Просмотр многочисленных расчётов и соответствующих диаграмм подтверждают вывод (15).

1 Те задачи теории судовождения, которые связаны с необходимостью определения величины угла дрейфа, а это задачи нормирования габаритов судов в плане, нормирования допустимой величины непросматриваемой зоны и др. значительно упрощаются, так как может быть использовано выражение (5) вместо нахождения угла дрейфа через уравнения движения судна по криволинейной траектории.

2 Как известно, при проведении натурных циркуляционных испытаний наименее точно определяется угол дрейфа, так как это связано с проведением касательной к экспериментальной кривой движения центра тяжести судна. При использовании выражения (5) эта задача значительно упрощается, значительно уточняется и ведёт к уменьшению трудозатрат при проведении натурального эксперимента.

3 Что касается неустановившегося движения, то добавление к обычным уравнениям поперечных сил и моментов, уравнения:

$$\frac{d\beta}{dt} = \frac{d\Theta}{dt}\Omega + \frac{d\Omega}{dt}\Theta, \quad (16)$$

полученного дифференцированием по времени выражения (5) ведёт к системе трёх уравнений относительно трёх неизвестных, выбрасывая из рассмотрения уравнение продольных сил, то есть избавляет исследователя от принятия довольно грубого допущения о малом влиянии скорости хода судна на геометрию криволинейного движения судна.

В заключение так и хочется в качестве эпиграфа к настоящей статье не в начале, а именно здесь, привести слова князя Б.И. Курагина, сподвижника Петра Первого, заменяя в них слово «Гистория» на слово «Теория»: «... но полную «Гисторию» ожидать надобно через других, кто в том впредь труд свой также имеет приложить. Но прошу моего читателя в настоящее время сим удовольствоваться, а на предбудущее от других к своему удовольствию ожидать» [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Павленко, В.Г. Маневренные качества речных судов (управляемость судов и составов) / В.Г. Павленко. -М.: Транспорт, 1979. -183 с.

2 Ходкость и управляемость судов / В.Г. Павленко и [др.]; под ред. В.Г. Павленко. -М.: Транспорт, 1991. -397 с.

3 Саленек, В.В. К расчёту корпусной характеристики судна / В.В. Саленек // Судовождение-2010: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2010. -С. 65-67.

4 Богданов, А.П. Царевна Софья и Пётр (драма Софии) / А.П. Богданов. -М.: Вече, 2008. -349 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *установившаяся циркуляция, параметры движения, угол дрейфа, радиус*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Саленек Валерий Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

КОМПРЕССОРНЫЙ ДИЗЕЛЬ – ПРОШЛОЕ ИЛИ БУДУЩЕЕ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ?

Челябинское высшее военное автомобильное командно-инженерное училище (военный институт) им. П.А. Ротмистрова, филиал ФГОУ ВПО «Военный учебно-научный центр Сухопутных войск «Общевойсковая академия Вооружённых Сил Российской Федерации»
ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

В.С. Кукис, И.А. Харенко

COMPRESSOR DIESEL – ENGINE PAST OR THE FUTURE?

Chelyabinsk higher military automotive command engineering college (military institute) named P.A. Rotmistrov, branch Federal state of military educational institution of higher education «Military training and scientific center of land forces' combined «Military academy of the armed forces of the Russian Federation»

«The central automobile repair factory No.15»

V.S. Kukis, I.A. Kharenko

Carried out comparative assessment of various types of piston engines, shows the desirability and feasibility in the current conditions of sale of diesel engines with a pneumatic atomization of fuel.

Keywords: diesel, compressed air nozzle, fuel, thermodynamic cycle, heat

Проведена сравнительная оценка различных типов поршневых ДВС, показаны целесообразность и возможность в современных условиях реализации дизелей с пневматическим распыливанием топлива.

В настоящее время в качестве поршневых ДВС используются двигатели с принудительным воспламенением топлива (бензиновые или газовые двигатели) и с воспламенением топлива от сжатия (бескомпрессорные дизели). В последних подача топлива в цилиндры осуществляется путем его распыливания под давлением, обеспечиваемым механическим путем (либо в топливном насосе высокого давления, либо в насос-форсунке). Появившиеся исторически первыми двигателями воспламенением топлива от сжатия и пневматическим распыливанием топлива (компрессорные дизели) в первой половине прошлого века были сняты с производства. Причина заключалась в том, что для производства сжатого воздуха был необходим компрессор, приводимый в действие от коленчатого вал и потреблявший значительную долю мощности, вырабатываемой двигателем.

Между тем, если говорить об эффективности процессов преобразования теплоты в работу, происходящих внутри цилиндра, компрессорные двигатели заслуживают серьезного внимания.

Сравним термодинамические циклы двигателей с принудительным воспламенением топлива (цикл с подводом теплоты по изохоре), бескомпрессорного дизеля (цикл с комбинированным подводом теплоты) и компрессорного дизеля (цикл с подводом теплоты по изобаре).

Любые сравнения имеют смысл лишь тогда, когда сопоставляемые объекты поставлены в определенные одинаковые условия сравнения (граничные условия).

При сравнении теплоиспользования (то есть экономичности) различных циклов поршневых ДВС можно рассматривать различные варианты комбинаций граничных условий. Все зависит от того, в каких ситуациях мы хотим сравнить циклы.

Известно, что предел форсирования поршневых ДВС лимитируется механическими и термическими нагрузками на их детали и узлы. Поэтому ограничимся случаем, представляющим наибольший практический интерес – будем рассматривать циклы с одинаковыми: начальными условиями; максимальными температурами рабочего тела (то есть с одинаковыми термическими нагрузками); максимальными давлениями рабочего тела (то есть одинаковыми механическими нагрузками).

Сравнение проведем графическим путем, используя принцип изображения теплот, передаваемых в термодинамических процессах, в виде соответствующих площадей в координатах T-s (рисунок 1).

Известно, что термический КПД циклов определяется по формуле

$$\eta_t = 1 - (|q_2|/q_1), \quad (1)$$

где q_1 – количество подведенной теплоты (на рисунке 1 ему соответствует площадь 1-с-я-2 в цикле с подводом теплоты по изохоре; 1-с"-z-2 в цикле с подводом теплоты по изобаре и 1-с'-z'-z-2 в цикле с комбинированным подводом теплоты);
 q_2 – количество отведенной теплоты (на рисунке ей во всех случаях соответствует площадь 1-а-в-2).

Очевидно, что

$$q_1^p > q_1^{\text{комб}} > q_1^v.$$

Поскольку

$$|q_2^p| > |q_2^{\text{комб}}| > |q_2^v|,$$

то

$$\eta_t^p > \eta_t^{\text{комб}} > \eta_t^v.$$

Последнее неравенство свидетельствует о том, что среди двигателей, характеризующихся одинаковой механической и термической нагруженностью, наиболее экономичным является термодинамический цикл компрессорного дизеля. Худшее теплоиспользование присуще циклу с подводом теплоты при $v = \text{idem}$.

Однако в реальных условиях необходимость затрат мощности на привод компрессора в двигателях со сгоранием при $p = \text{idem}$ делал его неэкономичным (в плане эффективного и эксергетического КПД). В этой ситуации на первое место по теплоиспользованию выходит бескомпрессорный дизель.

В настоящее время получение сжатого воздуха для пневматического распыливания топлива можно обеспечить на отбирая мощность с коленчатого вала за счет использования термокомпрессора, утилизирующего тепловые потери с отработавшими газами поршневого ДВС [1]. В этом случае появляется возможность вернуться к производству компрессорных дизелей, обладающих целым рядом достоинств, показанных на схеме (рисунок 2).

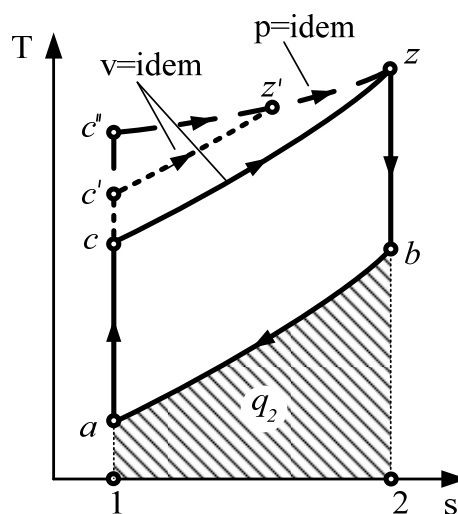


Рисунок 1 – Термодинамические циклы двигателей с подводом теплоты по изохоре, по изобаре и с комбинированным подводом теплоты, наложенные друг на друга с соблюдением принятых условий

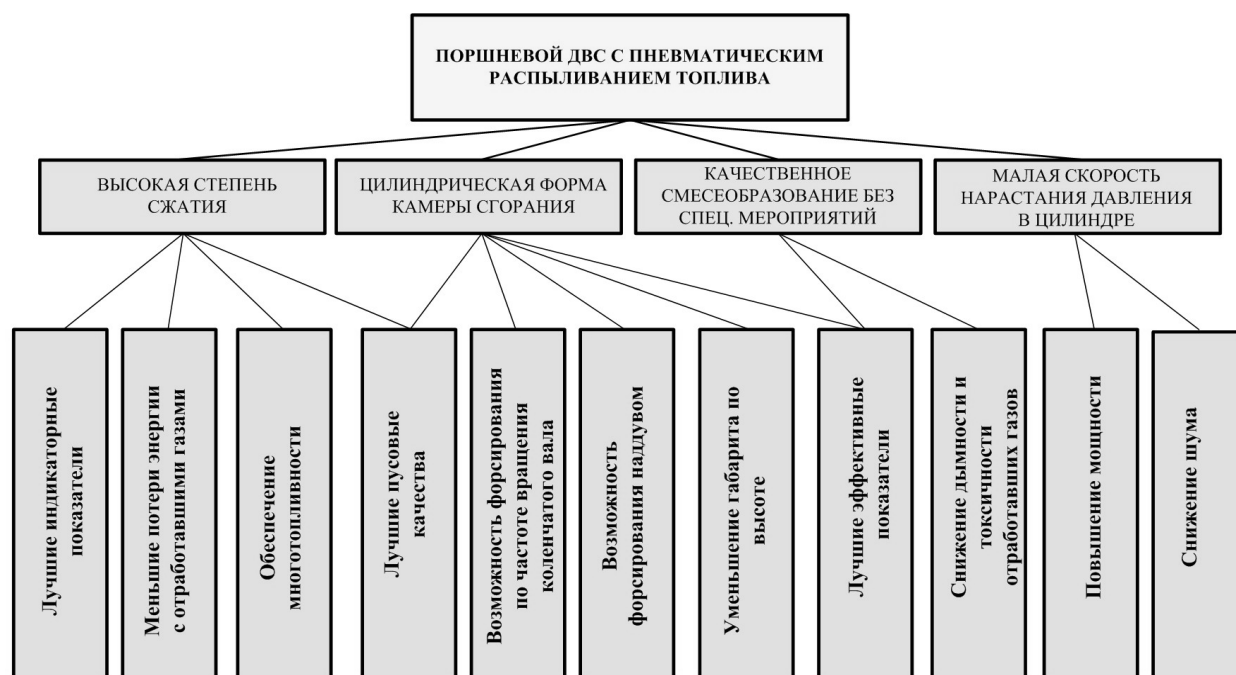


Рисунок 2 – Специфические особенности дизеля с пневматическим распыливанием топлива

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ридер, Г. Двигатели Стирлинга / Г. Ридер, Ч. Хупер; пер. с англ. С.С. Ченцова, Е.Е. Черейского, В.И. Кабакова. -М.: Мир, 1986. -464 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизель, сжатый воздух, форсунка, топливо, термодинамический цикл, теплота

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кукус Владимир Самойлович, доктор техн. наук, профессор ФГОУ ВПО

«ВУНЦСВ»ОАВСРФ»

Харенко Игорь Алексеевич, начальник отдела ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 454029, г. Челябинск, пр. Победы, 187, ЧВВАКИУ, филиал ФГОУ ВПО «ВУНЦСВ»ОАВСРФ»
630056, г. Новосибирск, ул. Варшавская, 1, ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И АНАЛИЗ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ РАСПЫЛЕННОГО ТОПЛИВА В ЦИЛИНДРЕ ДИЗЕЛЯ

ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

С.П. Кулманаков, С.В. Яковлев

THE METHOD OF CALCULATION AND ANALYSIS OF DELAY TIME OF IGNITION OF SPRAYED FUEL IN THE CYLINDER DIESEL ENGINE

«Altay state technical university named I.I. Polzunov»

S.P. Kulmanakov, S.V. Yakovlev

In this paper the method of calculating the period of ignition delay on the basis of elementary physical and chemical processes taking place in the cylinder diesel engine, which allows to determine the role of limiting factor in the ignition of sprayed fuel.

Keywords: the ignition delay; mathematical model; combustion; evaporation of fuel, mixing

Представлена методика расчета периода задержки воспламенения на основе элементарных физических и химических процессах, имеющих место в цилиндре дизеля, которая позволяет определить роль лимитирующего фактора в воспламенении распыленного топлива.

Сгорание в дизеле в большей мере имеет характер диффузионного сгорания, то есть когда скорость реакции значительно выше скорости смешения реагентов. Достижение быстрого и полного сгорания зависит в основном от смешения. Несмотря на то, что время задержки воспламенения τ_i занимает малую долю от продолжительности всего рабочего цикла дизеля, роль этого параметра в обеспечении требуемых эффективных и экологических показателей двигателя огромна. Поэтому возникает необходимость наличия и применения при доводке существующих, а также при создании перспективных двигателей, методик, формул для определения значений τ_i , позволяющих с достаточной для практики точностью прогнозировать начало процесса сгорания (тепловыделения). Если обобщить все проблемы сгорания в дизелях, то их можно коротко сформулировать как отыскание связи между интегральными характеристиками сгорания x и подачи топлива σ , так как расшифровка ее включает в себя раскрытие закономерностей всех физических и химических процессов, происходящих в камере сгорания дизеля. Следовательно, нахождение функции $x = f(\sigma)$ является конечной целью всех фундаментальных исследований по сгоранию в дизеле, основной теории горения распыленных топлив. Функцию $x = f(\sigma)$ можно определить или эмпирическим подбором аналитических зависимостей с отысканием численных коэффициентов, не имеющих определенного физического смысла, но «удобно» описывающих наблюдаемые связи, или последовательной расшифровкой природы отдельных, входящих в общее явление процессов, раскрытием их закономерностей с последующей компоновкой общей теории на базе элементарных зависимостей физических и химических превращений.

В первом случае возможно абстрактное понимание сущности процесса, так как все сводится к подбору коэффициентов и показателей без необходимости постановки широкого комплекса экспериментов. Задача сводится к тому, чтобы принятую обобщенную зависимость, подобную кинетическим зависимостям окисления, обогатить численными эмпирическими критериями. В большей степени этот метод пригоден для аналитического описания найденных связей и в меньшей степени пригоден для прогнозирования. Существующие эм-

пирические, полуэмпирические формулы пригодны лишь для определенных условий при которых происходит рабочий процесс в цилиндре дизеля. Изменение границ этих условий, требует замены коэффициентов в этих формулах. Так, например, из теории цепного и теплового воспламенения следует, что с повышением температуры период индукции должен изменяться по закону $\tau_i \exp(-E/RT) = \text{Const}$, но в действительности это соотношение соблюдается только при высоких и низких температурах, и не имеет места в зоне промежуточных температур, где можно наблюдать прямо противоположную зависимость (отрицательный температурный коэффициент). Однако такой метод получил право на существование, особенно когда подробная сущность явлений непонятна. Может быть именно поэтому, обобщающие исследования сгорания в дизеле, как исключительно сложного процесса, начались с таких попыток описать «закон сгорания» в дизеле полуэмпирическими выражениями.

Второе направление требует более четких и ясных представлений об элементарных физических и химических процессах, имеющих место при развитии сгорания в дизеле, для чего необходимы обширные экспериментальные исследования для формулирования основных качественных зависимостей, чтобы получить возможность рассчитывать процессы смешения и сгорания.

Знание всего комплекса характеристик позволит дать полную оценку моторных качеств топлива или степени совершенства рабочего процесса. Следует отметить, что предлагаемая система характеристик в первую очередь требует расшифровки процессов топливоподачи, теплообмена, массообмена и смешения, которые трудно выделить из общего потока накладывающихся друг на друга процессов, но без знания которых почти невозможно понять явление в целом. Все это требует фундаментальных исследований по физико-техническим основам смешения и воспламенения распыленных топлив, так как только раскрытием закономерностей элементарных физических и химических процессов можно расшифровать природу сгорания в дизеле. В данной работе намечен путь построения методики расчета периода задержки воспламенения, который бы охватил все физико-химические аспекты смешения и воспламенения распыленного топлива.

Физико-химические характеристики. Методика. Скорость сгорания жидкого распыленного топлива определяется скоростями испарения и перемешивания паров топлива с окислителем, то есть скоростью протекания физического процесса смешения. Чем короче период индукции, тем меньше интенсивность взрыва вследствие меньшего количества топлива в камере и худшего его распыления, испарения и смешения с воздухом, когда начинается горение.

В объеме камеры сгорания дизеля в топливовоздушной смеси, подготовленной за период времени задержки воспламенения, возникает разное количество очагов сгорания, и пламя практически мгновенно охватывает весь объем, то есть имеет место теплового взрыва. В результате скорость нарастания, а также максимальное давление цикла приводят к шумной и жесткой работе дизеля. Очевидно, что одним из путей достижения плавной работы и уменьшения шума двигателя является сокращение времени задержки воспламенения. После начала впрыскивания топлива в цилиндр до начала химических предпламенных процессов протекают физические процессы, необходимые для подготовки смеси к началу предпламенных химических реакций. Этот период времени от момента впрыскивания топлива до начала предпламенных химических реакций называют временем физической задержки воспламенения. За время физической задержки воспламенения в двигателях происходят сложные физические процессы, такие как распад струи топлива на капли, нагрев и испарение капель, диффузия паров топлива и воздуха. Только после этого начинается образование химических холоднопламенных процессов. В итоге время задержки воспламенения можно представить как сумму времени физических и химических задержек:

$$\tau_i = \tau_{\text{физ}} + \tau_{\text{хим}} \quad (1)$$

При анализе смешения и его влияния на рабочий процесс целесообразно рассматривать отдельно составляющие его «элементарные» физические процессы: впрыск топлива, развитие топливного факела и его распыливание по объему камеры, нагрев топлива и смешение его паров с окислителем.

Из выше указанных условий физическая задержка воспламенения складывается из времени затраченного на испарение и на перемешивание испаренного топлива с окислителем

$$\tau_{\text{физ}} = \tau_{\text{исп}} + \tau_{\text{диф}} \quad (2)$$

В цилиндре дизеля процессы испарения и перемешивания топлива происходят одновременно. Однако, скорость испарения легких фракций выше скорости их диффузии в капле в направлении к ее поверхности. Как следствие, испаряются даже самые тяжелые фракции наружного слоя капли, после чего происходит в соприкосновении с воздухом следующий слой. Очень маленькие капли успевают испариться на более ранней стадии.

В большинстве случаев топливо испаряется в диффузионной области; процесс определяется тепломассопереносом между поверхностью испарения и окружающей средой. В дизелях основная масса топлива подается и испаряется в виде топливного факела. Впрыск топлива происходит с высокими начальными скоростями, и процесс испарения топлива зависит при прочих равных условиях от скорости развития топливного факела в воздухе, занимаемого им объема и спектра размеров капель в факеле. Испарение топлива сопровождается интенсивным теплообменом его с нагретым воздухом; скорость теплообмена во многом определяется скоростью испарения. Вследствие очень малых промежутков времени, отводимых на испарение, его полнота будет во многом зависеть от длительности процесса, количества подводимой к топливу теплоты и возникающих температурных градиентов в объеме топливного факела, а также от общей площади распыленного факела.

Время, затраченное на испарение, определяется по выражению Сполдинга [3]

$$t_{исп} = \frac{D_m^2 \rho_{ж}}{8 \frac{\lambda}{c_{пар}} \ln \left[1 + \frac{c_{пар} (T - T_0)}{L} \right]}, \quad (3)$$

где D_m – медианный диаметр капли;

$\rho_{ж}$ – плотность топлива;

λ – коэффициент теплопроводности;

$c_{пар}$ – теплоемкость пара;

T – температура воздуха в момент впрыска;

T_0 – начальная температура топлива;

L – скрытая теплота парообразования.

Медианный диаметр капли можно рассчитать по уравнению предложенным Кутым В.А. [7]

$$d_m = d_0 \left[\left(1 + \frac{d_c}{d_2} \right) + 2 \left(1 - \frac{p_{cp}}{2p_1} \right) \frac{p_1}{p_{cp} + \frac{p_1 d_2}{\pi d_c}} \left(\frac{l_c}{d_c} \right)^{0.125} \right] \left(\frac{\nu}{\nu_0} \right)^{0.15}, \quad (4)$$

где d_0 – постоянный коэффициент, $d_0 = 16,5$ мкм;

d_2 – постоянный коэффициент, $d_2 = 0,30$ мкм;

p_1 – постоянный коэффициент, $p_1 = 15,0$ мкм;

ν_0 – постоянный коэффициент, $\nu_0 = 5,23$ мм²/с;

d_c – диаметр соплового отверстия форсунки;

ν – кинематическая вязкость;

p_{cp} – среднее давление впрыска,

$$p_{cp} = 0,6 p_{\max};$$

l_c – длина соплового отверстия.

Связь между концентрацией паров топлива и массовым расходом диффундирующих в воздушном потоке паров определяется законом Фика, согласно которому скорость переноса массы вещества на единицу площади пропорциональна градиенту концентрации

$$m_D = -D_c \cdot \frac{dC_i}{dx} \cdot F. \quad (5)$$

Приведенное выражение записано для концентрационной диффузии, причиной которой является разность между концентрациями диффундирующих сред. Однако причиной диффузии может быть неравномерное распределение температуры или давления между компонентами среды. Термодиффузия происходит в неизотермических условиях. Это явление второго порядка, которым обычно пренебрегают даже при рассмотрении процесса сгорания. Появление бародиффузии в газовых средах связано с возникновением градиентов давле-

ния, например вследствие центробежных сил. Закон Фика для термо- и бародиффузии соответственно:

$$m_D = -D_T \frac{dT_i}{dx} F; m_D = -D_p \frac{dP_i}{dx} F. \quad (6)$$

Оценка влияния нестационарности процесса испарения капли топлива на массу диффундирующих в воздушном потоке паров топлива. Капля с начальным радиусом $r_{k0} = a_0/2$, в момент времени $\tau_0 = 0$ находится в среде бесконечно протяжности, причем на расстоянии от центра капли $x > r_{k0}$ концентрация паров $C = C_\infty$. В первом приближении допустим, что в процессе испарения начальный диаметр капли не меняется и не снижается ее температура. Тогда к моменту времени $\tau > 0$ в результате испарения на поверхности капли, $x = r_{k0}$, концентрация паров $C = C_s$, где C_s - концентрация насыщенного пара. Одномерное дифференциальное уравнение диффузии

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D_c \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (7)$$

с начальными и граничными условиями

$$C = C_\infty; \tau_0 = 0; x > r_{k0};$$

$$C = C_s; \tau > 0; x = r_{k0}.$$

Решение имеет вид

$$C = C_s + \frac{C_s - C_\infty}{x} r_{k0} \operatorname{erf} \left(\frac{x - r_{k0}}{2\sqrt{D_c \tau}} \right), \quad (8)$$

где $\operatorname{erf}(z)$ – функция ошибок,

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\pi} \exp(-z^2) dz.$$

По закону Фика массовый расход паров топлива, диффундирующих в воздушном потоке за единицу времени через сферическую поверхность, concentрическую с поверхностью капли, с учетом (8)

$$m_D = -D_c \frac{dC}{dx} F = -4\pi r_{k0}^2 D_c \left(\frac{dC}{dx} \right)_{x=r_{k0}} = 4\pi r_{k0}^2 D_c (C_0 - C_\infty) \left(1 + \frac{r_{k0}}{\sqrt{\pi D_c \tau}} \right) = m_{D_0} \left(1 + \frac{r_{k0}}{\sqrt{\pi D_c \tau}} \right), \quad (9)$$

где m_D – массовый расход паров, соответствующий квазистационарному процессу испарения,

$$m_D = 4\pi r_{k0}^2 D_c (C_0 - C_\infty).$$

Коэффициент диффузии газов и паров топлива пропорционален температуре воздуха T_∞ в степени b и обратно пропорционален давлению p_∞ среды (воздух), в которую диффундируют газы (пары топлива)

$$D_c = D_{c0} \left(\frac{T_B}{T_0} \right)^b \frac{p_0}{p_B}, \quad (10)$$

где D_{c0} – коэффициент диффузии (табличное значение);

p_0 – давление, $p_0 = 0,1$ МПа;

T_0 – температура при нормальных условиях, $T_0 = 273$ К;

b – постоянный коэффициент, $b = 1,7$.

Таким образом, время, затраченное на перемешивание испаренного топлива с окислителем с учетом выше сказанного

$$T_{\text{диф}} = \frac{m_{D_0}^2 r_{k0}^2}{(m_D - m_{D_0})^2 \pi D_c}, \quad (11)$$

Время химической задержки воспламенения начинается, когда топливо и воздух заранее перемешаны, находятся в газовой фазе, начальные давление и температура постоянны и нет теплоотдачи в стенку. Согласно теории горения, в которой введены понятия о низкотемпературном и высокотемпературном механизмах самовоспламенения углеводородных топлив, период индукции определяется временем от образования холодного пламя (свечение возбужденного формальдегида) до появления очагов горячего пламя (до появления

взрывного протекания реакции). Воспользуемся зависимостью, которую вывел Д.А. Франк-Каменецкий из выражения [6], определяющее изменения температуры, концентрации и скорости реакции во времени

$$\tau_{\text{хим}} = \frac{1}{k_0 a_0^{n-1}} \frac{RT_0^2}{E(T_b - T_0)} \exp\left(\frac{E}{RT_0}\right),$$

где a_0 – начальная концентрация реагирующих веществ;

n – порядок реакции;

R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,314$ кДж/(кмоль·К);

T_0 – температура при которой начинаются холоднопламенные процессы;

E – энергия активации;

T_b – наибольшая температура выгорания в адиабатических условиях;

k_0 – предэкспоненциальный множитель,

$$k_0 = 2\chi\sigma\sqrt{2\pi RT\left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2}\right)};$$

σ – квадрат суммы радиусов сталкивающихся молекул;

m_1, m_2 – массы сталкивающихся молекул;

χ – стерический фактор.

Стерический фактор (вероятность того, что при столкновении молекулы обладают необходимой для протекания реакции пространственной ориентации), которая рассчитывается на основании теории абсолютных скоростей реакций, основанной на представлении об образовании активированного комплекса при столкновении реагирующих частиц) рассчитывается по теории переходных состояний

$$\chi = z_{\text{вп}}(f^* - \sum f - 2),$$

где $z_{\text{вп}}$ – средняя величина статсуммы на одну вращательную степень свободы;

f^* – число вращательных степеней свободы для переходного состояния;

$\sum f$ – общее число вращательных степеней свободы реагентов.

В таблице приведены экспериментальные и расчетные примеры значений τ_i .

Таблица – Экспериментальные и расчетные примеры значений τ_i

Режим	$\varphi_{\text{вп}} = \text{вар, град.}$	325	330	335
Эксперимент	T , К	690	727	767
	τ_i , мс	5,83	4,38	3,13
Расчет τ_i , мс	по формуле Вольфера	14,16	7,95	4,56
	по формуле Хироясу	36,06	16,5	7,8
	по формуле Толстова	3,12	2,18	1,98
	по предположенной методике	6,01	4,71	3,24

Анализ. Кинетика окисления топлива разработана только применительно к газовым однородным по составу смесям простейших углеводородов с кислородом и никак не учитывает особенности окисления в неоднородном заряде. Необходимо понять особенности химических превращений в заряде, расслоенном в широком диапазоне концентраций. В расслоенных смесях химическая реакция развивается с различными скоростями в заряде из-за различия в химическом составе (и температуре). Кроме того, в расслоенных зарядах имеются встречные диффузионные потоки компонентов, а также диффузионные потоки продуктов частичного окисления, что, с одной стороны, непрерывно изменяет состав смеси в данном слое, а с другой стороны, обеспечивает перенос продуктов окисления из слоя в слой. В зависимости от соотношения скоростей окисления и смешения возможно различные случаи: если скорость смешения больше скорости окисления, то химическая реакция практически развивается в однородном заряде; если скорость смешения меньше скорости окисления, то химическая реакция развивается в первоначально расслоенном заряде без участия процессов переноса; если скорость смешения и скорость окисления, выраженные через изменение концентрации $dc/d\tau$ или через характеристическое время, близки по значениям, то химическая реакция развивается в заряде с непрерывно изменяющимся полем концентраций и при

перемещение продуктов частичного окисления из слоя одной концентрации в слой другой концентрации. Так при низких температурах скорость химических превращений много меньше скорости смешения, а при высоких температурах наоборот (рисунок 1). Таким образом, процесс воспламенения лимитируется химической реакцией при низких температурах и смешением при высоких температурах.

Анализ методики расчета показывает, что физическая задержка воспламенения в основном зависит от размеров капель топлива, от характера перемешивания и незначительно изменяется от температуры (при высоких температурах $\tau_{физ} = 0,2-0,4$ мс, а при низких температурах $\tau_{физ} = 0,7-0,8$ мс) в отличие от химической задержки воспламенения, которая крайне резко изменяется с температурой. При высоких температурах $\tau_{физ}$ составляет довольно значительную долю общей задержки воспламенения τ_i , а при низких температурах наоборот.

При исследовании химической природы воспламенения из общей задержки воспламенения вычтем величину $\tau_{физ}$. Из опытных данных [10] наклон кривой (рисунок 2) $\tau_{хим}$ будет значительно больше наклона кривой τ_i . Итак, химическую энергию активации воспламенения нельзя определить в неоднородном заряде, так как ее значения искажаются гомогенизацией заряда и энергетическими затратами на развитие физических процессов.

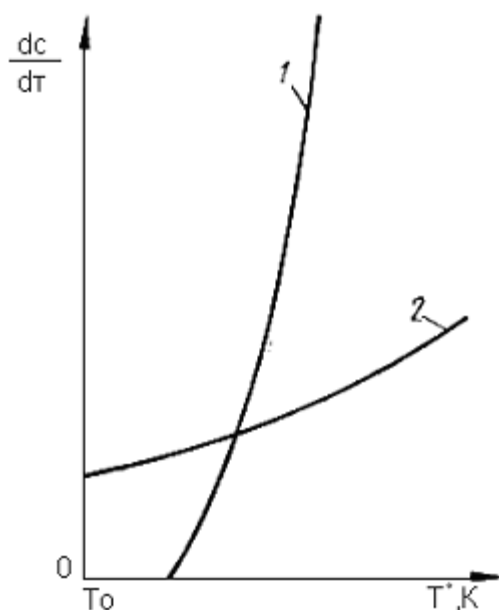


Рисунок 1 – Температурные зависимости скоростей химической реакции (кривая 1) и смешения (кривая 2)

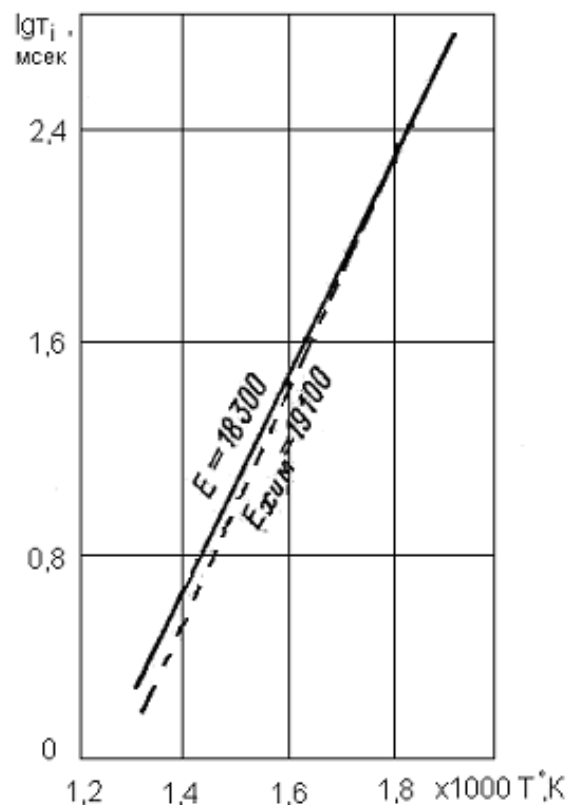


Рисунок 2 – Зависимость суммарной задержки воспламенения (—) и ее химической составляющей (---) от температуры воспламенения

Выводы. Несмотря на то, что формула (1) носит условный характер, так как провести четкую границу между окончанием физической и началом химической задержки в поршневых двигателях не представляется возможным.

Следует отметить, что проведенный анализ природы воспламенения распыленного топлива позволяет в опытно-теоретическом расчете связи x и σ найти τ_i , при котором начинается процесс горения. Данная работа – это создание методики для определения задержки воспламенения топлива, которая основана на более детальном рассмотрении физико-химических процессов происходящих в цилиндре дизеля.

Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы (ФЦП) «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Воинов, А.Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях / А.Н. Воинов. -М.: Машиностроение, 1977. -277 с.: ил.
 - 2 Кавтарадзе, Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы: учеб. для вузов / Р.З. Кавтарадзе. -М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. -720 с.: ил.
 - 3 Сполдинг, Д.Б. Горение и массообмен / Д.Б. Сполдинг. -М.: Машиностроение, 1985.
 - 4 Брозе, Д.Д. Сгорание в поршневых двигателях / Д.Д. Брозе. -М.: Машиностроение, 1969. -248 с.
 - 5 Пурмаль, А.П. А,Б,В,... химической кинетики / А.П. Пурмаль. -М.: Академкнига, 2004. - 277 с.
 - 6 Математическая теория горения и взрыва / Я.Б. Зельдович, Г.И. Баренблат, В.Б. Либрович, Г.М. Махвиладзе. -М.: Наука, 1980.-478 с.
 - 7 Кутовой, В.А. Впрыск топлива в дизелях / В.А. Кутовой. -М.: Машиностроение, 1981.
 - 8 Гуреев, А.А. Испаряемость топлив для поршневых двигателей / А.А. Гуреев, Г.М. Камфер. -М.: Химия, 1982. -264 с.: ил.
 - 9 Васильев, А.А. Задержка воспламенения в многотопливных смесях / А.А. Васильев // Физика горения и взрыва. -2007. -№3. -С. 42-46.
 - 10 Свиридов, Ю.Б. Смесеобразование и сгорание в дизелях / Ю.Б. Свиридов. -Л.: Машиностроение, 1972. -224 с.
 - 11 Енохович, А.С. Справочник по физике / А.С. Енохович. -М.: Высш. шк., 1977.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: период задержки воспламенения, математическая модель, сгорание, испарение топлива, смесеобразование
- СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кулманаков Сергей Павлович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
Яковлев Сергей Валентинович, аспирант ГОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
- ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ГОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕЧЕНИЙ СТЕРЖНЕЙ, УПОТРЕБЛЯЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ ПИЛЛЕРСОВ И РАСКОСОВ ФЕРМ СУДОВЫХ КОРПУСОВ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.А. Бимбереков

DETERMINATION OF GEOMETRIC PARAMETERS SECTION OF THE ROD, IS USED AS A PILLAR AND BRACES FARM HULL
«Novosibirsk state academy of water transport»
P.A. Bimberekov

An expression for estimating the length of the rods given cross section, in which they can be considered short and to its components – the radius of gyration of cross section, for cases of cross-sections is used as a pillar and the bracing of ship hulls, calculated curves are obtained based on the data reduction parameters of the mix. Also obtained and assessed values of the specific moment of inertia.

Keywords: section of the rod, ship building, the geometrical parameters

Получено выражение для оценки длины стержней заданного сечения, при которой их можно считать короткими и для его составляющего – радиуса инерции поперечного сечения, для вариантов поперечных сечений употребляемых в качестве пиллерсов и раскосов судовых корпусов, получаются расчетные зависимости на основе обсчета параметров сортамента. Также получаются и оцениваются значения коэффициента удельного момента инерции сечения.

Расположение материала по сечению стержней работающих на растяжение не влияет на их прочность, также как и у коротких стержней, работающих на сжатие у которых можно допустить при проектировании значение критических напряжений равным пределу текучести материала (по [1] это соблюдается при выполнении условия для эйлеровых напряжений $\sigma_3 \geq 2,6R_{eH}$, где R_{eH} - напряжение текучести материала). То есть напряжения в сечении стержня не зависят от его формы, а зависят только от площади сечения

$$\sigma_z = T/F. \quad (1)$$

Согласно [1], с учетом того, что выбрана размерность сжимающего усилия, T в кН, а

напряжения σ_z в МПа, для значения площади сечения, F в см², для работающих на растяжение и коротких стержней справедливо выражение

$$F = 20T/R_{eH}. \quad (2)$$

Значение эйлеровых напряжений [1], определяется равенством

$$\sigma_3 = 200I_{\min}/(l^2F), \quad (3)$$

где $I_{\min}$ – минимальный момент инерции площади его сечения, см⁴;

l – длина стержня, м.

Виды обычно употребляемых профилей в качестве пиллерсов и раскосов ферм судовых корпусов даны на рисунке 1а-1г, иногда также используются варианты рисунок 1д и 1е.

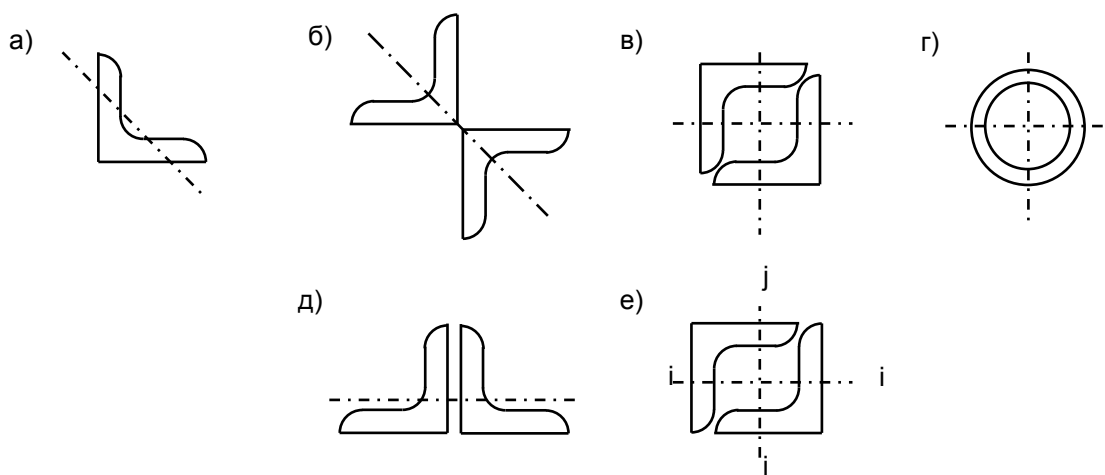


Рисунок 1 – Схемы площадей поперечных сечений пиллерсов и раскосов

При проектировании желательно знать, какую можно допустить длину стержня при данном его поперечном сечении, при котором его еще можно считать коротким. Для этого из выражения (3) и оговоренного выше условия коротких стержней, получим выражение для длины стержня, обуславливающее удовлетворение требований к коротким стержням

$$l \leq \sqrt{\frac{200 I_{\min}}{2,6 F R_{eH}}} = 8,77 \sqrt{\frac{I_{\min}}{F}} \sqrt{\frac{1}{R_{eH}}} = 8,77 r_{\min} \sqrt{\frac{1}{R_{eH}}}, \quad (4)$$

где $r_{\min}$ – минимальный радиус инерции поперечного сечения стержня,

$$r_{\min} = \sqrt{I_{\min}/F};$$

R_{eH} – напряжение текучести материала.

Для длинных стержней, встречающихся в конструкции судовых корпусов (наиболее часто встречающийся случай), работающих на сжатие, существует возможность потери устойчивости. Величина критической нагрузки сжатого стержня пропорциональна минимальному моменту инерции площади его сечения. Поэтому наилучшей формой длинного стержня работающего на сжатие будет та, при которой момент инерции, $I_{\min}$, будет иметь наибольшее значение при заданной площади сечения, или, что тоже, минимальный радиус инерции поперечного сечения стержня, $r_{\min}$, будет иметь наибольшее значение при заданной площади сечения.

Изначально получим аналитические зависимости радиусов инерции сечений относительно предусмотренных сортаментом осей (рисунок 2 – взят из сортамента) для равнополочных горячекатаных уголков по [2].

Для этого получим графические и аппроксимационные аналитические зависимости от отношения $I_{\min}/F$, представляющие квадрат радиусов инерции сечения, которые представлены на рисунке 3.

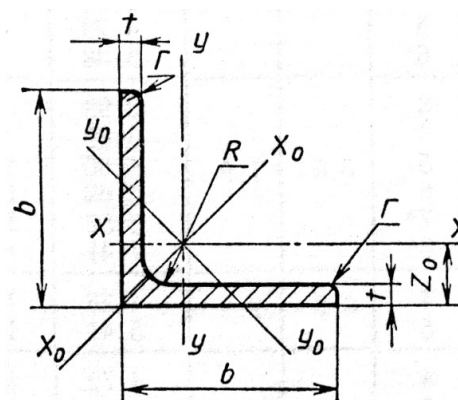


Рисунок 2 – Схема поперечного сечения равнополочного уголка по [2]

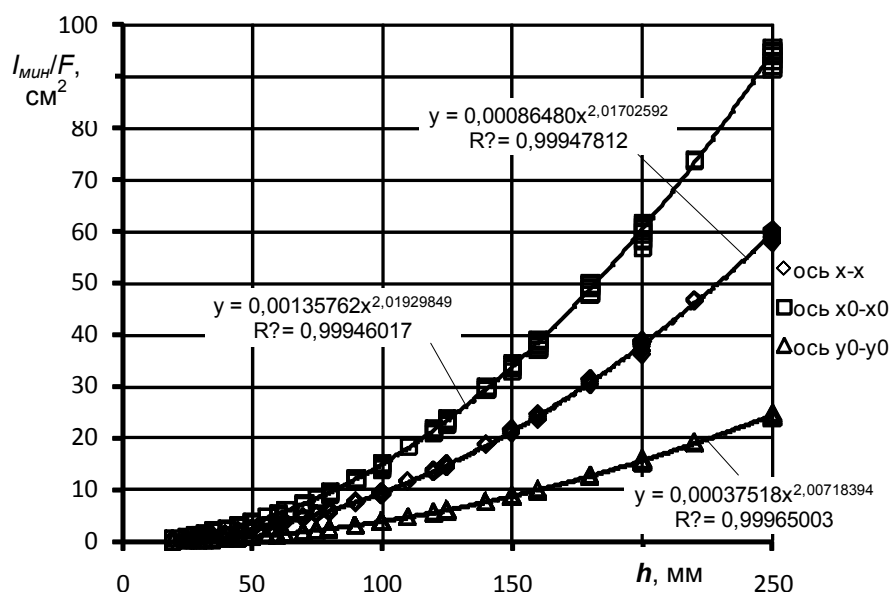


Рисунок 3 – Зависимости отношения $I_{\min}/F$ для равнополочных горячекатаных уголков по [2]

Приняв в качестве структурной зависимости выражение $I_{\min}/F = f(h^2)$, получаем ее коэффициенты пропорциональности и в результате – следующие итоговые выражения для радиусов инерции поперечного сечения равнополочного уголка относительно оговоренных осей (рисунок 2)

$$r_{\min(x-x)} = 0,0307h, \text{ см}; \quad (5)$$

$$r_{\min(x_0-x_0)} = 0,0387h, \text{ см}; \quad (6)$$

$$r_{\min(y_0-y_0)} = 0,0197h, \text{ см}, \quad (7)$$

где h – ширина полки, мм.

Очевидно, что значения радиусов инерции сечений пиллерсов по вариантам рисунок 1б и 1д будут иметь тоже значение как у отдельного профиля соответственно по выражениям (6) и (7).

Далее получим выражения для радиусов инерции сечений пиллерсов по вариантам рисунок 1в и 1е. Для этого получим вспомогательные зависимости положения нейтральной оси z_0 и значений толщины стенки полки t , от величины полки профиля h . Графическое и аналитическое представление указанных зависимостей представлено на рисунках 4 и 5, а также выражениями (8)-(11).

На основании рисунков 4 и 5 имеем

$$z_0 = 0,0281h; \quad (8)$$

$$t_{\min} = 0,0064h; \quad (9)$$

$$t_{\text{cp}} = 0,00912h; \quad (10)$$

$$t_{\max} = 0,016h, \quad (11)$$

где z_0 – положение центра тяжести профиля (рисунок 2), см;

$t_{\min}$ – значения t у нижней границы массива данных, см;

t_{cp} – средние значения t по полю массива данных, см;

$t_{\max}$ – значения t у верхней границы массива данных, см;

h – ширина полки, мм.

Дополнительно отметим, что при стыковке профилей по варианту рисунок 1в) имеет место смещение одного профиля наружу относительно другого примерно на $0,6t$.

Произведем определение отношения $I_{\min}/F$ для вариантов рисунок 1в и 1е соответственно в таблице 1 и 2.

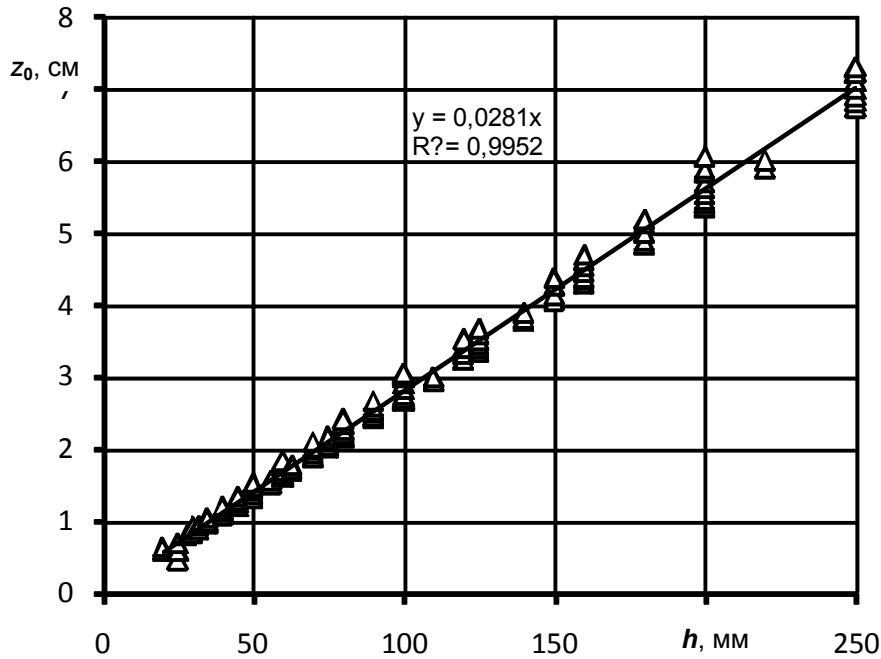


Рисунок 4 – Зависимость вида для $z_0 = f(h)$ равнополочных горячекатаных уголков по [2]

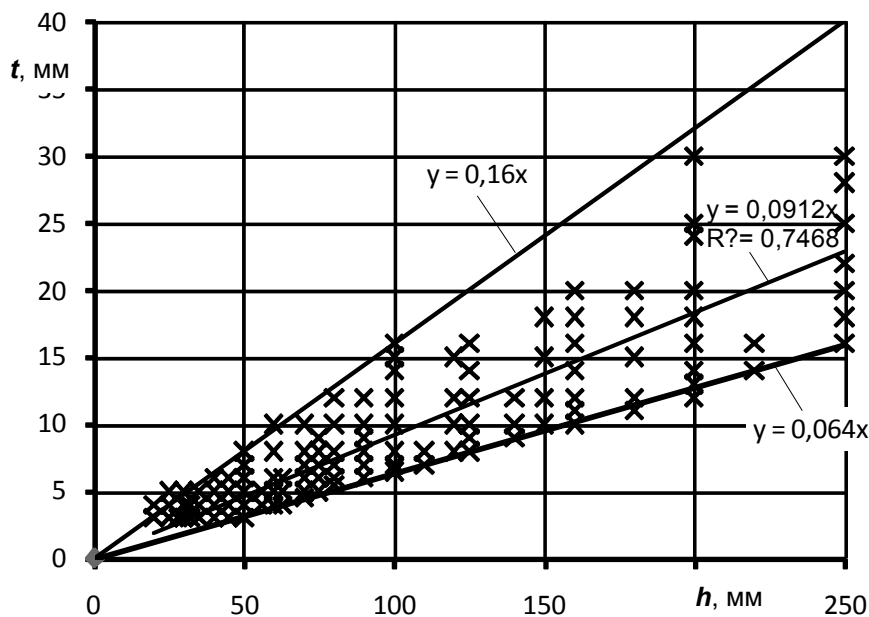


Рисунок 5 – Зависимость вида $t = f(h)$ для равнополочных горячекатаных уголков по [2]

Ниже получим значения $I_{\min}/F$ и $r_{\min}$ для нижней и верхней границы поля толщин сортамента, вводя в обозначение соответственно индексацию min и max

$$I_{\min}(\epsilon_{\min})/F(\epsilon) = I_{\min}/(2F) = I_1/F/2 - S_1/F/2 \cdot z_{11} = 0,001511h^2; \quad (12)$$

$$I_{\min}(\epsilon_{\max})/F(\epsilon) = I_{\min}/(2F) = I_1/F/2 - S_1/F/2 \cdot z_{11} = 0,001657h^2; \quad (13)$$

$$r_{\min}(\epsilon_{\min}) = 0,03888h_1; \quad (14)$$

$$r_{\min}(\epsilon_{\max}) = 0,04071h. \quad (15)$$

Разница величины $r_{\min}$ для граничных значений сортамента по толщине полок профиля для данного варианта составляет 4,7%.

Таблица 1 – Вспомогательный расчет для определения отношения $I_{\text{мун}}/F$ (для варианта рисунок 1в)

№	Относительная площадь	z_0 , см	$Fz_0/F = z_0$, см	$Fz_0^2/F = z_0^2$, см ²	$I_{\text{мун}}(\text{собо})/F$, см ²
1	$F/F = 1$	$0,0281h$	←	$0,0281^2 h^2$	$0,000944h^2$
2	$F/F = 1$	$0,1h - 0,0281h + 0,6t$	←	$(0,0791h + 0,6t)^2$	$0,000944h^2$
Σ	2	$z_{11} = \frac{0,1h + 0,6t}{2}$	$S_1/F = 0,1h + 0,6t$	$I_1/F = (0,0719h + 0,6t)^2 + (0,0281h^2) + 2 \cdot 0,000944h^2$	
Σ_{min}	2	$z_{11} = 0,0519h$	$S_1/F = 0,1038h$	$I_1/F = 0,007862h^2$	
Σ_{max}	2	$z_{11} = 0,0548h$	$S_1/F = 0,1096h$	$I_1/F = 0,007939h^2$	

Таблица 2 – Вспомогательный расчет для определения отношения $I_{\text{мун}}/F$ (для варианта рисунок 1е) относительно оси i-i

№	Относительная площадь	z_0 , см	$Fz_0/F = z_0$, см	$Fz_0^2/F = z_0^2$, см ²	$I_{\text{мун}}(\text{собо})/F$, см ²
1	$F/F = 1$	$0,0281h$	←	$0,0281^2 h^2$	$0,000944h^2$
2	$F/F = 1$	$0,1h - 0,0281h$	←	$(0,0791h)^2$	$0,000944h^2$
Σ	2	$z_{11} = 0,05h$	$S_1/F = 0,1h$	$I_1/F = (0,0719h)^2 + (0,0281h^2) + 2 \cdot 0,000944h^2$	

На основании таблицы 2 для значений $I_{\text{мун}}/F$ и $r_{\text{мун}}$ имеем выражения:

$$I_{\text{мун}}(e)/F(e) = I_{\text{мун}}/(2F) = I_1/F/2 - S_1/F/2 \cdot z_{11} = 0,001424h^2; \quad (16)$$

$$r_{\text{мун}} = 0,03773h. \quad (17)$$

Таблица 3 – Вспомогательный расчет для определения отношения $I_{\text{мун}}/F$ (для варианта рисунок 1е) относительно оси j-j

№	Относительная площадь	z_0 , см	$Fz_0/F = z_0$, см	$Fz_0^2/F = z_0^2$, см ²	$I_{\text{мун}}(\text{собо})/F$, см ²
1	$F/F = 1$	$0,0281h$	←	$0,0281^2 h^2$	$0,000944h^2$
2	$F/F = 1$	$0,1h - 0,0281h + t$	←	$(0,0731h + t)^2$	$0,000944h^2$
Σ	2	$z_{11} = \frac{0,1h + t}{2}$	$S_1/F = 0,1h + t$	$I_1/F = (0,0731h + 0,6t)^2 + (0,0281h^2) + 2 \cdot 0,000944h^2$	
Σ_{min}	2	$z_{11} = 0,0532h$	$S_1/F = 0,1064h$	$I_1/F = 0,008809h^2$	
Σ_{max}	2	$z_{11} = 0,0580h$	$S_1/F = 0,1160h$	$I_1/F = 0,01040h^2$	

Для нижней и верхней границы поля толщин сортамента получим значения $I_{\text{мун}}/F$ и $r_{\text{мун}}$ (вводя в обозначение оговоренную индексацию)

$$I_{\text{мун}}(e_{\text{min}})/F(e) = I_{\text{мун}}/(2F) = I_1/F/2 - S_1/F/2 \cdot z_{11} = 0,001574h^2; \quad (18)$$

$$I_{\text{мун}}(e_{\text{max}})/F(e) = I_{\text{мун}}/(2F) = I_1/F/2 - S_1/F/2 \cdot z_{11} = 0,001838h^2; \quad (19)$$

$$r_{\text{мун}}(e_{\text{min}}) = 0,03967h; \quad (20)$$

$$r_{\text{мун}}(e_{\text{max}}) = 0,04287h. \quad (21)$$

Разница $r_{\text{мун}}$ для граничных значений сортамента по толщине полок профиля для данного случая составляет 8,1%. Разница в величине $r_{\text{мун}}$ по осям j-j и i-i составляет 4,8-12,0%.

Ниже приведем полученные нами значения $r_{\text{мун}}$ для вариантов рисунка 1, которые сведен в таблицу 3.

Для случая рисунок 1г при отношении $t/d_{\text{CP}} > 0,1$ нужно использовать выражения [3]:

$$r_{\text{мун}} = 0,25\sqrt{D^2 + d^2}; F = 0,25\pi(D^2 + d^2),$$

где D, d, d_{cp} и A - соответственно наружный, внутренний, средний диаметры (мм) и площадь сечения кольцевого профиля;
 t – толщина стенки кольцевого профиля

Таблица 3 – Значения радиуса инерции и коэффициента удельного момента инерции для ряда вариантов сечений тиллерсов и раскосов

Вариант	Радиус инерции $r_{мин}$, см	Коэффициент удельного момента инерции		
		β	β_{cp}	β по РРР
Рисунок 1а	$0,0197h$	0,321-0,576	0,449	0,44
Рисунок 1б	$0,0387h$	0,427-0,808	0,618	0,61
Рисунок 1в	$(0,0389 - 0,0407)h$	0,560-0,895	0,728	0,61
Рисунок 1г	$0,0353d_{cp}$	0,7*-1,11	0,905	1,00
Рисунок 1д	$0,0307h$	0,342-0,641	0,492	–
Рисунок 1е (ось i-i)	$0,0377h$	0,543-0,829	0,686	0,61

*-значение, взятые из [4] без нахождения такого у реальных проектов корпусов судов

В практике проектирования длинных стержней на сжатие [3] используется зависимость связи величины площади сечения и его наименьшим моментом инерции в виде

$$F = \sqrt{I_{мин}} / \beta, \quad (22)$$

где β – коэффициент удельного момента инерции сечения.

Получим значения β для равнополочного уголка относительно оговоренных осей (см. рисунок 2), которые представим на рисунке 6.

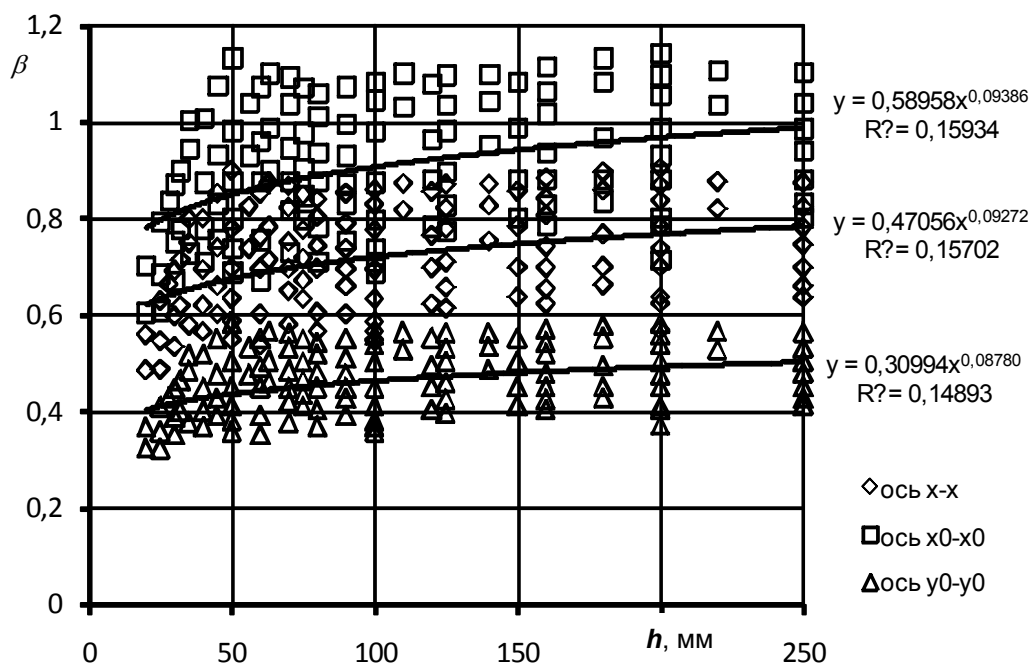


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента удельного момента инерции для равнополочных горячекатаных уголков по [2]

Имея в наличие значение β для изолированного профиля легко получить его значение для их комбинации, выстраиваемой вдоль определенных осей. Так для вариантов рисунок 1б и 1д получаем очевидное равенство

$$\beta(b, \vartheta) = \sqrt{2I_{мин}} / (2F) = \beta / \sqrt{2}. \quad (23)$$

Для вариантов рисунок 1в и 1е, рисунка 2 получим оценку диапазона значений коэффициента β на основе данных $r_{мин}$ по следующему выражению

$$\beta(b, e) = r_{мин}(b, e) / \sqrt{2F}. \quad (24)$$

Для площади поперечного сечения получим зависимость на основе обсчета сортамента, рисунок 7.

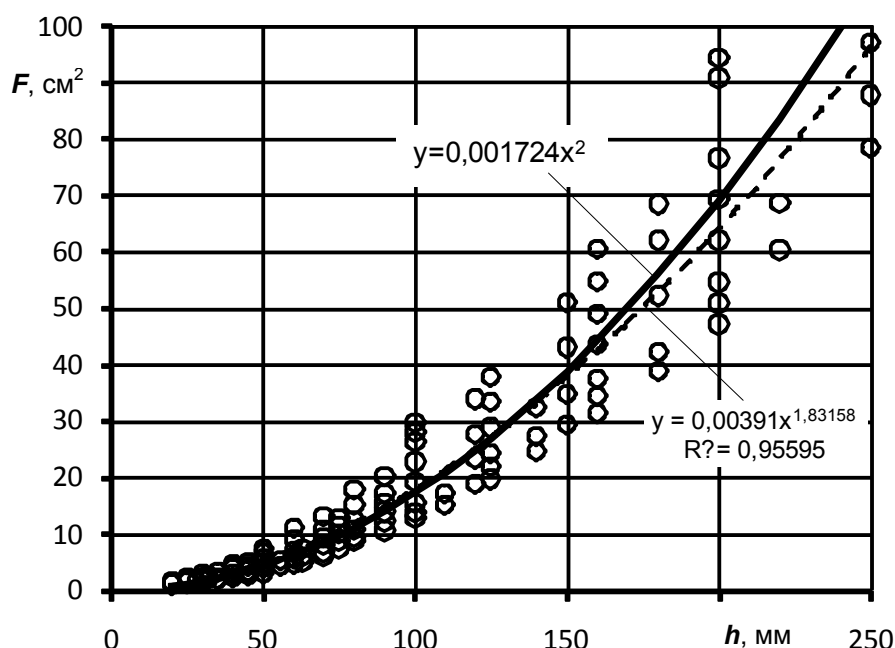


Рисунок 6 – Зависимость вида $F = f(h)$ для равнополочных горячекатаных уголков по [2]

Анализируя график зависимости рисунка 6 можно дать оценку, что разброс значений относительно аппроксимационной кривой составляет около 40% от значений этой кривой.

С учетом полученного выражения вида $F = f(h^2)$ для площади уголков

$$F = 0,001724h^2, \quad (25)$$

получим следующие оценочные границы коэффициента β для вариантов рисунок 1в и 1е, рисунок 2

$$r_{\min}(\epsilon, \epsilon) / \sqrt{1,4 \cdot 2 \cdot 0,001724h^2} \leq \beta(\epsilon, \epsilon) \leq r_{\min}(\epsilon, \epsilon) / \sqrt{0,6 \cdot 2 \cdot 0,001724h^2},$$

после упрощения выражения, получаем

$$14,4r_{\min}(\epsilon, \epsilon)h^{-1} \leq \beta(\epsilon, \epsilon) \leq 22,0r_{\min}(\epsilon, \epsilon)h^{-1}. \quad (26)$$

Значения оценок коэффициента β по вариантам рисунка 2 сведены в таблицу 3, там же даны значения принятые Российским Речным Регистром (РРР).

Выводы.

1 Значения меньшего радиуса инерции поперечного сечения равнополочных уголков и их комбинаций, употребляемых для производства пиллерсов и раскосов, имеют существенно меньший разброс данных по сравнению с коэффициентами удельного момента инерции для тех же сечений, и, следовательно, использование первых для проектных работ более предпочтительно. В частности, в первом приближении, можно рекомендовать для меньшего радиуса инерции коробчатого профиля, составленного из двух профилей равнобоких уголков, см, выражение $r_{\min} = 0,04h$, где h -ширина полки, мм.

2 Принятое РРР значение коэффициента удельного момента инерции для квадратного коробчатого сечения, составленного из двух профилей равнобоких уголков, представляется неоправданно жестким (существенно менее среднего значения) и можно рекомендовать его увеличение до значения 0,72. Отметим, что предписываемая РРР установка составных фасонных профилей посредством прокладок, очевидно, ещё увеличит значение меньшего радиуса инерции поперечного сечения и коэффициента удельного момента инерции по сравнению со значениями, определенными в настоящей статье. Так увеличение $r_{\min}$ может составить до 4,8-12,0% (на основании сравнения величин $r_{\min}$ варианта рисунок 1е по осям j-j и i-i рисунка 1. Увеличение β может составить до 5,7% (на основании сравнения данных по вариантам рисунок 1в и 1е (см. таблицу 3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Российский Речной Регистр. Правила. В 4 т. Т.2. -М.: Рос. Реч. Регистр, 2009. -406 с.
 - 2 ГОСТ 8509-86. Уголки стальные горячекатаные равнополочные. -М.: Изд-во стандартов, 1987. -10 с.
 - 3 Галаджиев, Р.С. Геометрические характеристики плоских сечений / Р.С. Галаджиев, Е.С. Катарян. -М.: Машгиз, 1963. -184 с.
 - 4 Прочность судов внутреннего плавания: справочник / В.В. Давыдов и [др.]. -М.: Реч. трансп., 1978. -529 с.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** сечение стержней, судовой корпус, геометрические параметры
- СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Бимбереков Павел Александрович, канд. техн. наук, старший преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»
- ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

БЛИЖАЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

О.И. Шелудяков

IMMEDIATE PROSPECTS OF WORLD ENERGY TRANSPORT
«Novosibirsk state academy of water transport»
O.I. Sheludjakov

The prospects of development of the transport of World Energy. On the basis of proven world reserves of fossil fuels concluded that the most promising type of fuel.

Keywords: prospects for development, energy

Проанализированы перспективы развития транспортной мировой энергетики. На основе доказанных мировых запасов горючих ископаемых сделан вывод о наиболее перспективном виде топлива.

Общеизвестно, что запасы нефти на планете истощаются. Многие страны осуществляют государственную поддержку развития альтернативных видов топлива. Мировая добыча нефти за 2006 год составила 3800 млн. т [1].

Поскольку транспортом расходуются в основном светлые нефтепродукты, пусть мировое производство светлых нефтепродуктов будет составлять 50% от добытой нефти, то есть 1900 млн. т.

Если предположить, что через 20-40 лет запасы нефти на планете иссякнут, то приведенное количество светлых нефтепродуктов должно быть заменено альтернативными видами топлива.

Из дальнейшего анализа исключаются пропан-бутановая смесь, как нефтепродукт, и сжатый (сжиженный) природный газ, как неудобный для применения на большинстве существующих транспортных средств.

Поскольку альтернативные виды топлива имеют теплотворную способность ниже теплотворной способности нефтепродуктов, необходимо проанализировать их нефтяные энергетические эквиваленты [8].

В таблице представлены результаты анализа.

Таблица – Годовое мировое производство альтернативных топлив

Альтернативное топливо	Источник	Год	Годовое производство, млн. т	Нефтяной энергетический эквивалент, млн. т
Рапсовое масло	[2]	2007	18,5	16,4
Этиловый спирт	[3]	2005	28,6	18,1
Диметиловый эфир	[4]	2006	0,15	0,10
Синтетическое жидкое топливо из угля	[5]	2006	20,0	20,0
Итого			65,45	54,6

Как видно из таблицы альтернативное топливо может покрыть лишь 2,87 % потребления светлых нефтепродуктов.

Перспективы увеличения производства рапсового масла ограничены природными условиями и подходящими пахотными землями. Масляный рапс возделывается на юге России и в Украине. Для масляного рапса нужны гумусные, легкие, маловлажные, нейтрально-щелочные почвы [1]. Мировое производство семян рапса за 2007 год составило 51,6 млн. т. Исходя из таблицы, производство рапсового масла составляет 35,8% от всего сбора семян. То есть практически весь рапс перерабатывается на масло.

Аналогична перспектива для кукурузного, подсолнечного, пальмового и других видов растительных масел, пригодных для сжигания в дизелях.

Перспективы увеличения производства этилового спирта из продуктов не нефтяного происхождения также ограничены выращиванием растительного сырья с высоким содержанием сахаров и глюкозы. Эти культуры еще более требовательны к природным условиям и пахотным землям.

Производство диметилового эфира из природного газа имеет значительные перспективы. Диметиловый эфир по своим свойствам может применяться как горючее для карбюраторных (инжекторных) моторов, так и для дизельных двигателей.

Из природного газа может также производиться синтетическая нефть [10].

Запасы природного газа значительны, но мировые разведанные запасы угля больше запасов природного газа в 15 раз [9].

Производство синтетического жидкого топлива из угля имеет широкие перспективы. Мировые запасы угля огромны, мировая добыча угля за 2007 год составила 6395,6 млн. т [6]. Доля угля, потребляемого котельными и ТЭЦ постоянно снижается за счет использования природного газа и атомной энергии. Часть угля – 810 млн. т ежегодно расходуется металлургической промышленностью [7]. Таким образом, 5585,6 млн. т угля расходуется котельными, ТЭЦ и другими отраслями промышленности. Из этого количества угля можно произвести от 1860 до 2790 млн. т синтетического жидкого топлива.

Традиционная технология производства такого топлива производит до 4 т отходов на тонну произведенного топлива. Однако новейшая технология с применением гамма-излучения позволяет значительно снизить количество отходов [5]. При этом планируется построить около 50 заводов по производству синтетического жидкого топлива по новейшей технологии. Суммарная производительность этих заводов запланирована около 300 млн. т в год. Это покрывает 15,8% потребности в нефтепродуктах.

Поскольку все больше котельных и ТЭЦ переходят на газовое топливо, доля газа в теплоэнергетике будет возрастать, а доля угля – снижаться.

Выводы: наиболее перспективный вид топлива – синтетическое жидкое из угля. Его теплотворная способность такая же, как у нефтепродуктов, а применение не требует изменений существующих топливных систем средств транспорта. Запасы угля больше, чем всех других горючих ископаемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Википедия: свобод. энцикл. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/neft>

2 АПК-информ [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.apk-inform.com/showart.php>

3 Википедия: свобод. энцикл. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki>

4 Модульные энергонезависимые установки для переработки углеводородных газов в метанол, высокооктановый бензин, диметиловый эфир и водород [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://energointop.narod.ru/statyi.htm>

5 Режим доступа: <http://www.sumtech.ru/newtech/benzin.htm>

6 Добыча полезных ископаемых и глобальное потепление [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://camru.org/articles/global_warming_fuels_production.html

7 Режим доступа: <http://www.metaltorg.ru/analytics/publication>

8 Альфа и омега: крат. справ. -4 изд. -Таллинн: Принтэст, 1991. -446 с.

9 Девянин, С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов. -М.: Издат. центр ФГОУ ВПО МГАУ, 2007. -340 с.

10 Емельянов, В.Е. Автомобильный бензин и другие виды топлива. Свойства, ассортимент, применение / В.Е. Емельянов, И.Ф. Крылов. -М.: Астрель-Аст: Профиздат, 2005. -208 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: перспективы развития, энергетика

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Шелудяков Олег Игоревич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ И ХАРАКТЕРА ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ ТРУЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОДШИПНИКОВ БУКСОВЫХ УЗЛОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

А.С. Трофимов, И.А. Волков

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF IDENTIFYING AND CHARACTER OF THE INFLUENCE OF DEFECTS FRICTION SURFACES BEARING OF WHEEL PAIRS CARGO WAGONS

«Volga state academy of water transport»

A.S. Trofimov, I.A. Volkov

Influences of defects of friction surfaces bearing of wheel pairs cargo wagon have been investigated. Methods of identify defects of friction surfaces have been analyzed. The results of layout test layout system vibration diagnostic reveal defects friction surfaces have been presented.

Keywords: wheel pairs, roller bearing, vibration diagnostics, defects in roller bearings

Исследованы влияния дефектов трущихся поверхностей подшипников буксовых узлов колесных пар грузовых вагонов. Проанализированы методы выявления дефектов трущихся поверхностей. Даны результаты испытаний макета системы вибродиагностики, выявляющей дефекты трущихся поверхностей.

Применение средств и методов входного, межоперационного и выходного неразрушающего контроля технического состояния подшипниковых узлов колесных пар подвижного состава, при выполнении ремонтных работ, является в современных условиях неотъемлемой частью обеспечения безопасности движения.

Проведя анализ событий (отказов в эксплуатации), отнесенных за ремонтными вагонами депо за 2009 год, выявлено, что в настоящее время основная причина отцепок вагонов в текущий ремонт связана с работой буксового узла колёсной пары. Из-за нагрева буксового узла происходят остановки поездов, что приводит к задержке доставки грузов, внеплановому простоя вагонов и излишним затратам.

За 12 месяцев 2009 года расследовано 25 случаев отцепок вагонов по грению буксовых узлов колёсных пар проходивших полное освидетельствование в ВКМ ВЧДР-3:

– 13 отцепок – с претензией к качеству планового вида ремонта ВКМ ВЧДР-3.

– 12 отцепок – без претензии к качеству планового вида ремонта ВКМ ВЧДР-3.

Отцепки вагонов с претензиями к качеству планового вида ремонта ВКМ ВЧДР-3 по причинам указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Отцепки вагонов с претензиями к качеству планового вида ремонта ВКМ ВЧДР-3

Причина	Количество	%
Надиры типа «ёлочка» на упорном кольце	3	23
Раковина на упорном кольце	2	15,4
Ослабление торцевого крепления	1	7,7
Надиры в лабиринтной части	1	7,7
Трещина приставного упорного кольца	1	7,7
Разница роликов подшипника по диаметру более нормы	1	7,7
Разрыв резинового уплотнения	1	7,7
Разность по диаметру роликов	1	7,7
Недостаточное количество смазки	1	7,7
Разница толщин стенок корпуса буксы	1	7,7
Итого	13	

Дефекты трущихся поверхностей, в общем, составляют – 38,5%.

В настоящее время вагоноремонтные депо РЖД в основном оснащены следующими типами систем вибродиагностики: ОМСД-02, УДП-2001СМ, МПП-93.

Производители всех систем заявляют достоверность выявления дефектов не хуже 80%. Перечень выявляемых дефектов, заявленный производителями различный, так система ОМСД-02 выявляет дефекты на поверхностях качения элементов подшипника, а например МПП-93, согласно руководству по эксплуатации, должна выявлять все дефекты подшипников буксовых узлов, что явно не соответствует действительности, что так же подтверждается эксплуатацией данной системы.

На сети железных дорог стран СНГ эксплуатируются колесные пары с буксовыми узлами, в которых используются подшипники роликовые радиальные с короткими цилиндрическими роликами типов: 30-32726Е1М и 30-42726Е1М.

Конструкция подшипников, используемых в данных типах буксовых узлов, предусматривает обязательный осевой зазор.

Таким образом, при диагностировании буксовых узлов колесных пар с использованием в качестве нагрузки собственного веса колесной пары не гарантирует контакта торцов роликов с бортами колец и упорным кольцом. Кроме того, при нагружении подшипников собственным весом колесной пары вибрация узла будет распространяться в основном в направлении приложения нагрузки, следовательно, и измерять данную вибрацию необходимо, ориентируя вибропреобразователь так, чтобы ось чувствительности располагалась в направлении распространения указанной вибрации.

Таким образом, существующие системы не могут с заявленной достоверностью выявлять дефекты трущихся поверхностей подшипников буксовых узлов.

Роликовые подшипники, расположенные в буксах колесных пар грузовых вагонов, воспринимают статические и динамические нагрузки, действующие на вагон, и передают их к вращающимся шейкам осей, а также ограничивают перемещение колесной пары при движении вагона. Из этого следует, что роликовые подшипники воспринимают осевые и радиальные нагрузки.

Радиальная нагрузка, направленная перпендикулярно оси вращения подшипников и шейке оси, возникает от тары вагона и груза, находящегося в нем, а также от вертикальных динамических воздействий из-за неровности пути, наличия стыков на рельсах и т.д.

Осевая нагрузка вызывается центробежной силой, давлением ветра и другими горизонтальными усилиями, действующими вдоль оси вращения подшипников.

Дефекты на торцевых поверхностях развиваются под действием указанных сил. Причинами появления данных дефектов являются: усталостное накопление повреждений (усталостное выкрашивание, усталостные трещины, шелушение поверхностей дорожек качения), сухое трение из-за разрыва масляной пленки (надиры типа «елочка»), коррозия и стресс-коррозия из-за попадания влаги внутрь буксового узла (коррозионные раковины), наличие механических примесей в смазке (намины) и т.д. [1].

Таким образом, для проявления торцевых дефектов в общей вибрации узла, необходимым условием является приложение осевой нагрузки на подшипники. Соответственно, вибрация, от дефектов торцевых поверхностей будет распространяться в осевом направлении, то есть вдоль оси колесной пары, следовательно для выявления дефектов торцевых поверхностей необходимо проводить измерения и анализ вибрации, распространяющейся в осевом направлении.

Для проведения экспериментов по определению возможности выявления и характера проявления дефектов на торцевых поверхностях использовался комплекс для вибродиагностики колесных пар грузовых вагонов на базе системы ОМСД-02, установленный в вагонном ремонтном депо Горький-сортировочный. Стенд-разгонщик комплекса был модернизирован, путем добавления устройства, создающего осевую нагрузку на буксовые узлы колесной пары (рисунок 1). Осевая нагрузка создается кронштейнами, вид которых представлен на рисунке 2, путем «растяжения» или «сжатия» колесной пары за буксовые узлы.

Для проведения эксперимента штатный комплекс был дооснащен двумя измерительными каналами, таким образом, чтобы при раскрутке колесной пары запись вибрации производилась одновременно с 4-х датчиков: 2-штатных и 2-х дополнительных.

Дополнительные датчики устанавливаются на крепительную крышку буксового узла в осевом направлении, так как крепительная крышка напрямую контактирует с наружным кольцом переднего подшипника.

Необходимая осевая нагрузка должна быть такой, чтобы полностью выбрать осевой за-

зор в подшипниках. Для определения величины данной нагрузки использовался индикатор перемещений, нагрузка последовательно увеличивалась и величина нагрузки, при превышении которой осевое смещение буксового узла не увеличивалось, принята за рабочую нагрузку. Величина нагрузки получилась равной 6,5 кН.

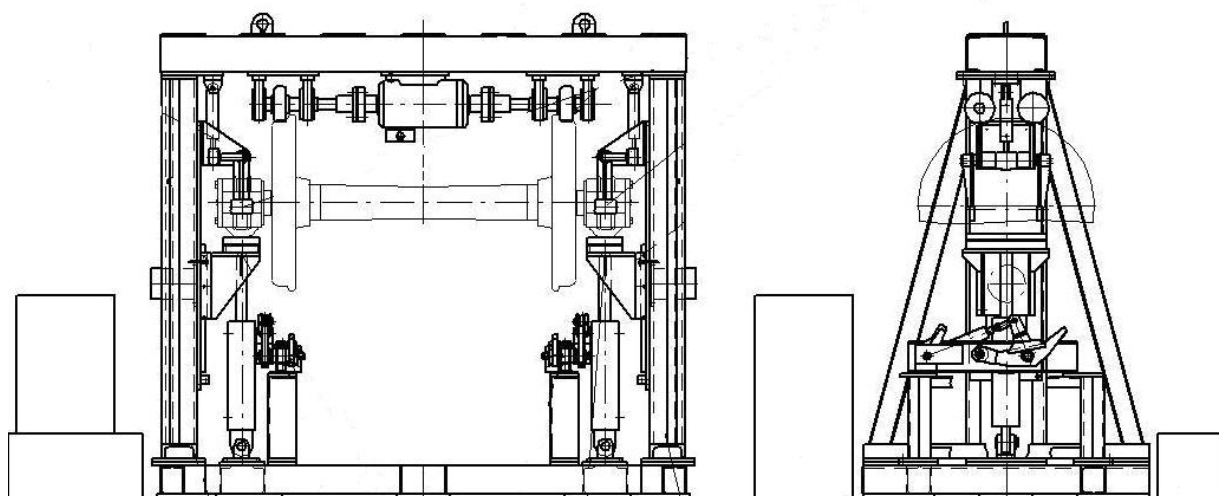


Рисунок 1 – Схема стенда СВРОН-1



Рисунок 2 – Механизм осевого нагружения стенда СВРОН-1 и место установки датчика в осевом направлении на буксовом узле

Для обнаружения и идентификации дефектов подшипников предлагается использовать систему, работающую по алгоритму и методам, представленным на рисунке 3.

Расчет и анализ спектра огибающей сигнала в области высоких частот позволяет резко повысить достоверность диагностирования за счет выявления дефектов на ранних стадиях развития и более точной идентификации типа дефекта. Для построения огибающей используется преобразование Гильберта, устанавливающее во временной и частотной областях связь между вещественной и мнимой частями одностороннего сигнала, определяемого при $t > 0$ и равного нулю при $t < 0$.

В дискретном виде сопряженный по Гильберту сигнал в соответствии с выражением

$$H\{x(t)\} = F\{x\} jF^{-1}(x),$$

где F, F^{-1} – соответственно прямое и обратное Фурье-преобразование,

$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{j\omega t} dt ; F^{-1}(w) = \int_{-\infty}^{\infty} F(w) \exp(j\omega t) dw .$$

Огибающая рассчитывается по формуле

$$y(t) = \sqrt{x^2(t) + H\{x(t)\}^2} .$$

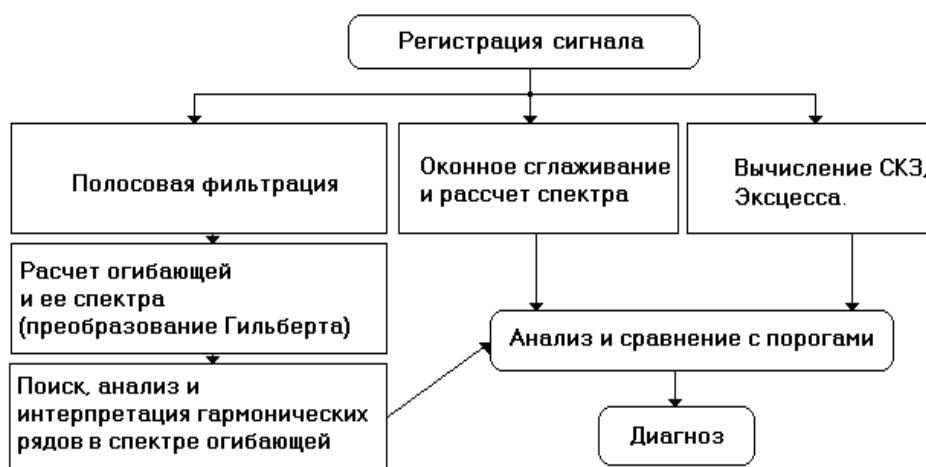


Рисунок 3 – Алгоритм работы системы вибрационной диагностики

Для получения спектра огибающей выполняется преобразование Фурье. Спектр огибающей бездефектного узла обычно вообще не содержит гармонических составляющих, а появление в нем хотя бы одной линии говорит о наличии того или иного дефекта, что в корне неверно в случае обычных спектров. Вид дефекта определяется по частоте гармонической составляющей, а степень по величине гармонической составляющей выраженной в единицах глубины модуляции, рассчитываемой по формуле

$$m = \sqrt{\left(10^{\Delta L/10} - 1\right) \frac{\Delta f_A}{\Delta f_\phi}} ,$$

где ΔL – разность уровней гармонической и случайной составляющих спектра огибающей;

Δf_A – разрешающая способность при анализе спектра огибающей;

Δf_ϕ – ширина полосы фильтра, выделяющего огибающую.

Расчет амплитудно-временных параметров – СКЗ, эксцесса. Позволяет повысить достоверность выявления таких дефектов как недостаток смазки и коррозия, а так же позволяет обнаруживать в сигнале ударные импульсы, связанные с повреждением поверхностей качения.

Среднее значение сигнала

$$\bar{x}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(t_i) .$$

Дисперсия

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 .$$

Среднеквадратичное значение

$$СКЗ = \sqrt{\sigma_x^2} .$$

Эксцесс

$$\eta_x = \frac{1}{(N-3)\sigma^4} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4 .$$

Расчет и анализ усредненного Фурье-спектра вибросигнала. Усреднение позволяет отсеять случайные составляющие, а спектральный анализ выявить и идентифицировать развитые дефекты.

В качестве критериев исправности узла принят факт не превышения некоторой пороговой величины контролируемого параметра. Пороговое значение рассчитывается статистически по партии заведомо годных изделий [2].

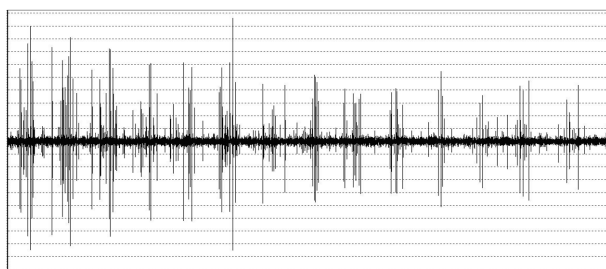
Для проведения эксперимента были сформированы две колесные пары с заложенными дефектами буксовых узлов, а так же колесная пара с исправными подшипниками. Информация о данных колесных парах представлена в таблице 2.

Указанные колесные пары прокручивались на стенде и при достижении необходимой частоты вращения производились записи вибросигналов одновременно всеми датчиками.

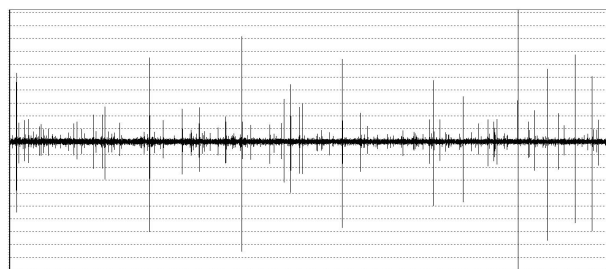
Таблица 2 – Данные о колесных парах

№ колесной пары	Описание дефектов подшипников
11750 007 403	Годные
0029 911 768	Левая букса: Надиры типа «елочка» на упорном кольце.
0029 751 398	Правая букса: Забоины на борте внутреннего кольца. Левая букса: Коррозионные раковины на упорном кольце. Правая букса: Надиры типа «елочка» на упорном кольце.

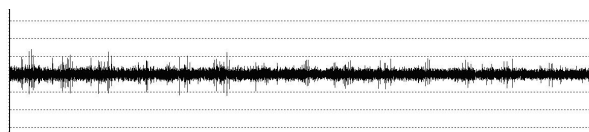
На рисунке 4 представлены некоторые сигналы и их спектры, иллюстрирующие характер проявления дефектов трущихся поверхностей.



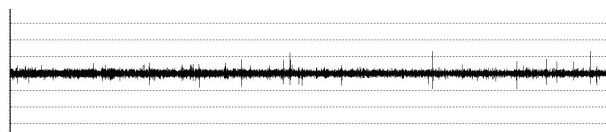
-датчик в осевом направлении



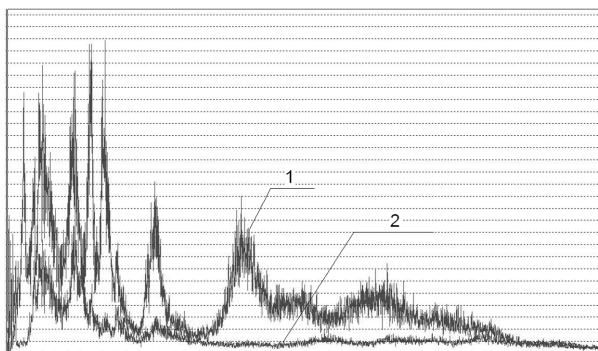
-датчик в осевом направлении



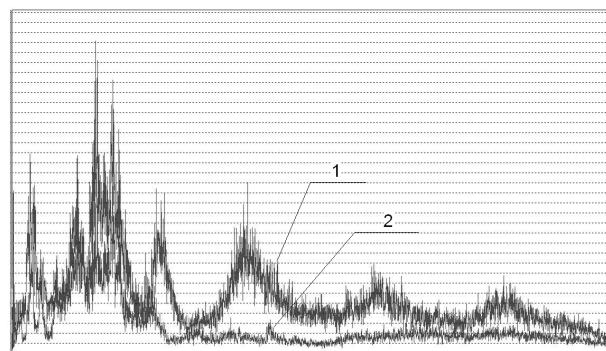
-датчик в радиальном направлении



-датчик в радиальном направлении



спектр вибросигналов с датчиков, установленных в радиальном (1) и осевом (2) направлении



спектр вибросигналов с датчиков, установленных в радиальном (1) и осевом (2) направлении

a)

6)

Рисунок 4 – Вибросигналы и их спектры с буксового узла с дефектом надкрытия типа «елочка» на упорном кольце: а)-без осевого нагружения, б)-нагрузка на растяжение

По результатам проведенных исследований выявлено, что наличие дефектов на торцевых поверхностях подшипников буксовых узлов проявляется в вибросигнале, прежде всего, в виде ударных импульсов, распространяющихся в осевом направлении, а также в спектрах вибросигналов, путем появления в них гармоник на частотах проявления дефекта. Дефекты торцевых поверхностей подшипников в составе колесной пары оказывают влияние практически на все составляющие вибрации, имеющие разную природу возбуждения.

Таким образом, с помощью существующей измерительной системы ОМСД-02, при про-

крутке колесных пар на доработанном стенде СВРОН-01 и переработке программного обеспечения возможно обнаружение дефектов торцевых поверхностей роликовых подшипников буксовых узлов. В настоящее время проводятся мероприятия по набору статистических данных о вибрации годных колесных пар, с целью определения пороговых значений браковки, а так же проводятся исследования вибрации буксовых узлов с различными дефектами торцевых поверхностей, дефектов лабиринтного уплотнения, с целью выяснения особенностей их проявления и идентификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Амелина, А.А. Устройство и ремонт вагонных букс с роликовыми подшипниками / А.А. Амелина. -М.: Транспорт, 1975. -288 с.

2 Барков, А.В. Вибрационная диагностика колёсно-редукторных блоков на железнодорожном транспорте / А.В. Барков, Н.А. Баркова, В.В. Федорищев / Северо-запад. учеб. центр. -СПб.: Издат. центр СПбГМТУ, 2002. -103 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: колесная пара, роликовый подшипник, вибродиагностика, дефекты роликовых подшипников

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Трофимов Алексей Сергеевич, аспирант ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

Волков Иван Андреевич, докт. физ.-мат. наук, профессор ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И РЕМОНТЕ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного
транспорта»
ООО «Восточная техника»

Л.К. Арабьян, Д.А. Шестаков

CONSTRUCTIVE – TECHNOLOGICAL EFFICIENCY ENHANCEMENT METHODS OF SHIP TECHNOLOGY WHILE BUILDING AND REPAIRING

«Novosibirsk state academy of water transport»

«Eastern Technology»

L.K. Arabyan, D.A. Shestakov

This article includes research results in the field of regulated-pitch screw propellers development. Also testing results of towboat – project 1741A – connected with two barges – project P-56 – are described.

Keywords: propeller, testing, performance, best mover, fuel economy

Рассмотрены результаты исследований в области разработки гребных винтов регулируемого шага и результаты испытаний состава буксир проекта 1741А – две баржи проекта Р-56.

Большинство транспортных судов речного и морского флота спроектировано и построено более 30 лет назад. Естественно, что конструктивные и технологические решения достаточно устарели. Поэтому суда требуют модернизации, а также учета этих факторов при выборе материалов и упрочняющих технологий при изготовлении и ремонте элементов судовых технических средств. Особое место в повышении эффективности СЭУ и всего судна имеет качество, в том числе износостойкость движителей (гребных винтов), а также совершенство взаимодействия движителя с двигателями.

Одним из путей повышения пропульсивного коэффициента судна является использование гребных винтов регулируемого шага (ВРШ), широко применяемых на морском флоте и позволяющих путем изменения шага гребного винта достигать оптимизации нагрузки двигателя в зависимости от изменяющихся условий эксплуатации: осадки, глубины фарватера, погодных условий и т.д.

Применение ВРШ, функционирующих в полном объеме, то есть осуществляющих регулирование шага от полного вперед до полного назад на речных судах не требуется, так как они снабжены реверс-редуктором.

Отсюда появляется возможность создания гребных винтов дискретно-регулируемого шага (ГВРДШ). Такая конструкция была разработана [1] и в отличие от сложных и дорогих

систем ВРШ позволяет изменять шаг винта дискретно, то есть для нескольких положений – основных режимов эксплуатации судна; например для движения судна порожнем судна с различными осадками с различными глубинами, то есть запасов воды под днищем.

Примером применения ГВДРШ, позволяющих получить экономическую эффективность при эксплуатации буксира-толкача проекта 1741А может служить серия испытаний, проведенных в 2009 г.

Первоначально была проведена серия испытаний толкаемого состава из буксира-толкача пр.1741А и баржи пр.Р-56. Данный состав используется для перевозки песка по маршруту Новосибирск-Ташара-Новосибирск.

Общая характеристика маршрута. Маршрут Новосибирск-Ташара (по течению), Ташара-Новосибирск (против течения); протяженность – 190 км; средняя глубина – 4 м; средняя скорость течения – 4,5 км/ч. При этом эксплуатационные характеристики составов были следующие:

– Состав 1 (Новосибирск-Ташара; буксир-толкач пр.1741А; длина 31 м; ширина 8 м; осадка – 1,35 м; движитель – гребной винт в направляющей поворотной насадке; диаметр винта 1,36 м, дисковое отношение 0,53, число лопастей – четыре, шаг 1,45 м; главный двигатель – 6NVD26А-3: номинальная мощность 272 кВт; номинальная частота вращения 950 мин⁻¹; передаточное отношение редукторной передачи 2,65; баржа пр.Р-56, осадка 0,5 м);

– Состав 2 (Ташара-Новосибирск; буксир-толкач пр.1741А; длина 31 м; ширина 8 м; осадка – 1,35 м; движитель – гребной винт в направляющей поворотной насадке; диаметр винта 1,36 м, дисковое отношение 0,53, число лопастей – четыре, шаг 1,45 м; главный двигатель – 6NVD26А-3: номинальная мощность 272 кВт; номинальная частота вращения 950 мин⁻¹; передаточное отношение редукторной передачи 2,99; баржа пр.Р-56, осадка 2,4 м).

Первоначальные испытания проводились с целью:

- получения параметров работы главных двигателей судна во время установившегося режима «работы» судна;
- проведение анализа режимов эксплуатации судна.

Для этого на вышеуказанном маршруте был выбран прямолинейный испытательный участок со следующими характеристиками: протяженность 3,5 км; глубина 4,5-5,5 м; средняя скорость течения 4,5 км/ч; с незначительным ветром и волнением.

По результатам первоначальных испытаний были получены следующие параметры работы главных двигателей судна (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры работы главных двигателей – стандартный гребной винт

Наименование показателя		Состав 1	Состав 2
Шаг гребного винта, м		1,45	1,45
Скорость движения состава, км/ч относительно	берега	16,0	7,0
	воды	11,5	11,5
Частота вращения коленчатого вала главного двигателя, мин ⁻¹	левый	700	840
	правый	700	840
Часовой расход топлива, кг/ч	левый	34	43
	правый	35	45
Мощность главного двигателя, кВт	левый	147	185
	правый	150	200
Температура выхлопных газов, °С	левый	350	360
	правый	360	390

На основании данных таблицы можно вычислить расход топлива на километр пути, который соответственно составил 4,31 кг/км для состава 1 и 12,57 кг/км для состава 2.

В результате анализа режимов эксплуатации судна были сделаны следующие выводы:

- главное требование, в настоящее время предъявляемое парохозяйствами к эксплуатации флота, максимально возможная экономия топлива. В соответствии с данным требованием, капитаны судов организуют «работу судов на экономичных режимах, при этом главные двигатели работают на долевых режимах («малый», «средний» ход);

- стандартные гребные винты фиксированного шага, которыми оснащено большинство судов речного флота, спроектированы из условия оптимальности только для номинальных параметров работы главных двигателей (номинальная мощность и частота вращения). Сле-

довательно, на долевых режимах работы главных двигателей, гребные винты фиксированного шага оказываются не оптимальными. При применении ГВДРШ в качестве движителей судна появляется возможность коррекции шагового отношения в зависимости от ожидаемого режима «работы» судна, что позволяет оптимизировать совместную работу гребных винтов и двигателей судна и для выше описанной ситуации получить дополнительную экономию топлива.

Далее были проведены расчеты необходимых параметров ГВДРШ (для вычислений использовалась расчетная программа, рекомендованная кафедрой «Теории и устройства корабля» Новосибирской государственной академии водного транспорта для судов данного типа), при этом в качестве исходных данных для расчетов были использованы параметры «работы» судна на испытательном участке.

После установки экспериментальных ГВДРШ упрощенной конструкции на судно была проведена серия повторных испытаний. Повторные испытания проводились на том же испытательном участке в схожих с первоначальными испытаниями ветро-волновых условиях.

На основе повторных испытаний также были получены данные параметров работы главных двигателей (таблица 2).

Таблица 2 – Параметры работы главных двигателей ГВДРШ

Наименование показателя		Состав 1	Состав 2
Шаг гребного винта, м		1,25	1,36
Скорость движения состава, км/ч относительно	берега	15,5	6,8
	воды	11,0	11,3
Частота вращения коленчатого вала главного двигателя, мин ⁻¹	левый	736	855
	правый	736	855
Часовой расход топлива, кг/ч	левый	31,5	40
	правый	32,5	41
Мощность главного двигателя, кВт	левый	124	177
	правый	135	180
Температура выхлопных газов, °C	левый	355	380
	правый	360	390

Вычисленный расход топлива на километр пути составил 4,12 кг/км для состава 1 и 11,9 кг/км для состава 2.

В результате сравнения полученных данных испытаний судна можно прийти к следующим выводам:

1 Применение ГВРДШ позволяет даже в условиях «работы» судна в режиме строжайшей экономии топлива получить дополнительную экономию.

Для данного случая:

– при движении вниз по течению 19 кг на 100 км пути;

– при движении вверх по течению 63 кг на 100 км пути.

Для маршрутов значительной протяженности от 0,5 до 2% затраченного топлива.

2 Применение ГВРДШ позволяет повысить провозную способность судна (вследствие получения максимально возможной скорости при номинальных параметрах работы главных двигателей), при этом обеспечить оптимальные затраты топлива.

Следует отметить, что конструкция гребного винта (ГВРДШ) не представляет по сравнению с ГВРШ большей сложности и, следовательно, стоимости.

После анализа имеющихся конструкций механизмов поворота лопастей (МПЛ) различных ГВРШ, а также существующих стандартов была разработана следующая конструкция ГВДРШ (рисунки 1-4).

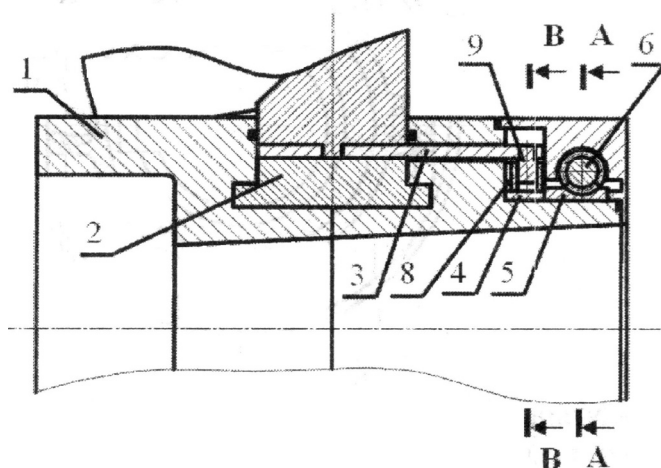


Рисунок 1 – Механизм поворота лопастей гребного винта дискретно регулируемого шага продольный разрез ступицы

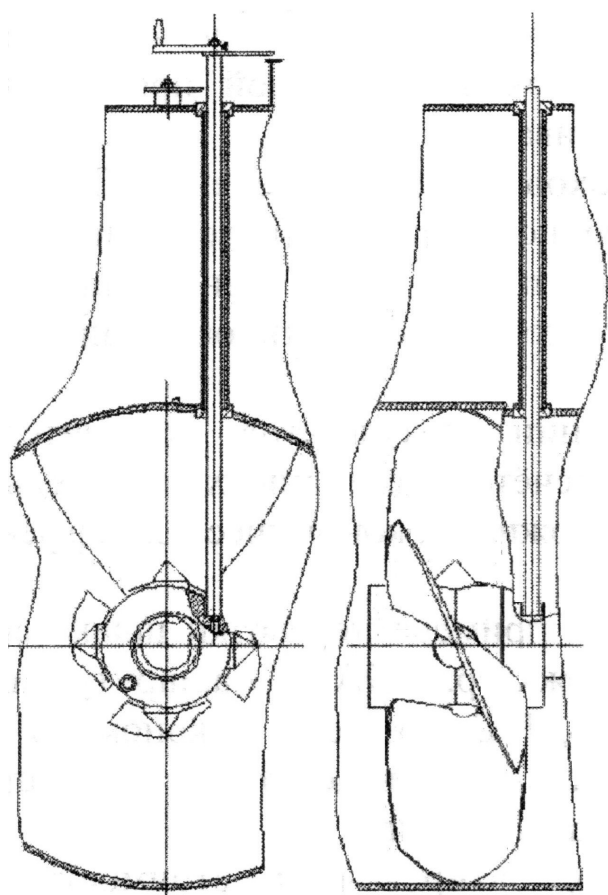


Рисунок 3 – Общий вид дистанционного привода гребного винта дискретно регулируемого шага

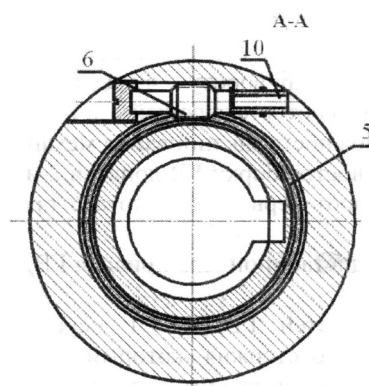


Рисунок 2 – Механизм поворота лопастей гребного винта дискретно регулируемого шага поперечный разрез ступицы (А-А)

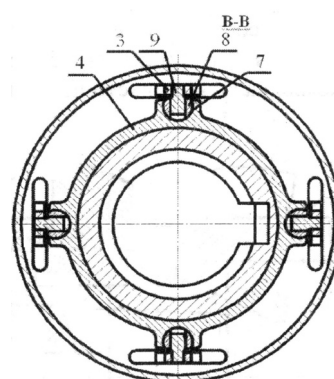


Рисунок 4 – Механизм поворота лопастей гребного винта дискретно регулируемого шага поперечный разрез ступицы (В-В)

МПЛ в своем составе имеет: регулировочную шайбу 4, выполненную с червячным приводом 5, 6, а также поводки 3, установленные в комле каждой лопасти перпендикулярно к ее оси.

В регулировочной шайбе выполнены цилиндрические отверстия 7 с вкладышами 8, которые перемещаются в регулировочной шайбе только в осевом направлении, имея возможность поворачиваться вокруг своей оси, и соединяются с поводками через цилиндрические пальцы 9. Цилиндрические пальцы 9 подвижно соединяются с вкладышами, ось которых, благодаря повороту вкладыша, всегда располагается параллельно оси соответствующей лопасти. Вследствие чего исключается возможность заклинивания механизма.

Для возможности сборки ГВ лопасти 2 и ступица 1 выполняются разборными. Поворот червячного винта 6 производится при помощи гнезда 10.

Общий вид дистанционного привода ГВДРШ показан на рисунке 5.

Поворот лопастей ГВДРШ 1 осуществляется при помощи поворота выдвижного стержня, который размещается в герметичной направляющей трубе и входит в зацепление с червячным винтом ГВДРШ. Поворот стержня осуществляется при помощи рукоятки, положение стержня отслеживается по положению стрелочного указателя и шкалы положений. В походном (поднятом) положении стержень фиксируется фиксатором.

При этом:

– Предложенная конструкция ГВДРШ отвечает всем необходимым требованиям государственных стандартов.

– Использование в качестве материалов для изготовления ГВДРШ, низколегированных сталей позволяет увеличить срок службы ГВ. Ориентировочный срок службы ГВДРШ – 15 лет, в то время как стандартные винты по статистике эксплуатации, в среднем служат не более 8 лет.

– Использование дополнительных противокавитационных мер: сегментного профиля цилиндрических сечений лопасти, увеличенного дискового отношения ГВ, также положи-

тельно сказываются на сроке службы ГВДРШ.

– Конструкция механизма поворота лопастей ГВДРШ зарегистрирована в Патентном ведомстве РФ (Роспатент).

На основании проведенных сравнительных испытаний судна «РТ618» пр.1741А были получены следующие данные:

1 Применение ГВДРШ позволяет даже в условиях «работы» судна в режиме экономии топлива получить дополнительную экономию.

Для условий сравнительных испытаний:

– при движении вниз по течению – 19 кг на 100 км пути;

– при движении вверх по течению – 63 кг на 100 км пути.

Для маршрутов значительной протяженности от 0,5 до 2% затраченного топлива.

2 При необходимости применение ГВДРШ позволяет повысить провозную способность судна (вследствие получения максимально возможной скорости при номинальных параметрах работы главных двигателей) при этом обеспечить оптимальные затраты топлива на тонну груза.

На основании результатов сравнительных испытаний и теоретических расчетов, сделанных в предыдущих главах, была произведена возможная экономическая эффективность применения ГВДРШ.

При этом на примере перевозки шлака составом буксир-толкач пр.1741А, две баржи пр.459А по маршруту Ташара-Нижевартовск использование ГВДРШ позволит сэкономить до 2% от количества затраченного топлива, что в денежном эквиваленте составит порядка 47 тыс. руб. за навигацию.

Так как ориентировочная стоимость изготовления одного гребного винта с системой ДРШ для судна пр.1741А – 100 тыс. руб. за каждый винт, при этом изготовление одного стандартного ГВФШ для этого судна обойдется в 60 тыс. руб., то дополнительные затраты на установку ГВДРШ окупятся меньше, чем за два эксплуатационных периода.

Так же увеличение срока службы гребного винта позволяет почти в два раза увеличить срок замены ГВ и снизить связанные с этим расходы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гребной винт регулируемого шага: пат. Рос. Федерация / Арабьян Л.К., Гуменников Ю.А., Шестаков Д.А. -№2008112804/11(013846); заявл. 02.04.08; опубл. 11.08.09. -7 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гребной винт, испытания, рабочие характеристики, оптимальный движитель, экономия топлива

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Арабьян Левон Каралетович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Шестаков Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, инженер ЗАО «Восточная техника»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»
630001, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 1, ООО «Восточная техника»

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Н.А. Сычева, Ю.В. Дёмин, И.Г. МIRONENKO, А.И. Мозиллов, Б.В. Палагушкин

APPLICATION OF THE METHOD OF MAGNETIC MEMORY OF METAL FOR DIAGNOSTICS OF THE TECHNICAL CONDITION OF SUPPORT OF ELECTRIC MAINS

«Novosibirsk state academy of water transport»

N.A. Sycheva, Yu.V. Demin, I.G. Mironenko, A.I. Mozilov, B.V. Palagushkin

According to the analysis of refusals of elements of high-voltage lines, support are reliable enough element of transmission lines. Only 9% (taking into account storm repressure) and 13% (without gas repressure) cases of refusals are connected with damage of support (for example, 37-57 % of refusals are a consequence of damage of wires and cables). Nevertheless, destructions of support have enough serious consequences for transmission lines and lead to the big economic losses.

Keywords: diagnostics, metal support, method of magnetic memory of metal

Согласно анализу отказов элементов ВЛ опоры являются достаточно надежным элементом ЛЭП. Только 9% (с учетом грозových перенапряжений) и 13% (без учета газовых перенапряжений) случаев

отказов связано с повреждением опор (например, 37-57% отказов является следствием повреждения проводов и тросов). Тем не менее, разрушения опор имеют достаточно тяжелые последствия для ЛЭП и приводят к большим экономическим потерям.

В настоящее время в России протяженность высоковольтных линий на металлических опорах составляет 25% от общей протяженности линий, основная масса которых была построена в 60-70х годах XX века. От 20 до 50% оборудования проработало срок, превышающий нормативный.

Контроль состояния металлических конструкций опор ЛЭП осуществляется сегодня в соответствии с требованиями РД 34.45–51. 300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования», который регламентирует проведения технических или иных испытаний и браковочные нормативы. В частности опоры обследуют путем низовых и верховых осмотров и периодическим измерением ряда параметров, что в большинстве случаев не дает полной картины состояния опоры, так как наряду с видимыми дефектами конструкции могут быть и скрытые, которые, как правило, и приводят к возникновению аварийных ситуаций.

Таким образом, проблема повышения надежности работы электросетевых конструкций является актуальной для всех классов напряжений для эксплуатируемых энергетических объектов всех регионов России.

Существенное снижение аварийности можно обеспечить только на основе современной диагностики, которая позволит перейти от «планово-профилактического» ремонта на ремонт «по состоянию». Преимущество такого перехода в том, что ресурсы затрачиваются только на опоры с имеющимися или предполагаемыми дефектами, что значительно снизит затраты и даст повышение надежности энергоснабжения и качества проведения работ. Для этого необходим комплекс диагностических мероприятий, позволяющих оценить их фактическое состояние и оценить время (хотя бы в первом приближении) до наступления преддефектного состояния металла.

Традиционные методы и средства диагностики (ультразвуковая диагностика, МПД, рентген) направлены на поиск уже развитых дефектов и по своему назначению не могут предотвратить внезапные усталостные повреждения оборудования – основные причины аварий и источники травматизма обслуживающего персонала. Известно, что основными источниками возникновения повреждений в работающих конструкциях являются зоны концентрации напряжений (ЗКН), в которых процессы коррозии, усталости и ползучести развиваются наиболее интенсивно. Следовательно, определение расположения ЗКН является одной из важнейших задач диагностики оборудования и металлоконструкций. Процессами, предшествующими эксплуатационному повреждению, являются изменения свойств металла в зонах концентрации напряжений. Соответственно изменяется и намагниченность металла, отражающая фактическое напряженно-деформированное состояние деталей машин, оборудования и металлоконструкций.

В настоящее время в России разработан и успешно внедряется на практике принципиально новый метод диагностики оборудования и конструкций, основанный на использовании магнитной памяти металла (МПМ). МПМ объединяет потенциальные возможности неразрушающего контроля (НК) и механики разрушений, вследствие чего, имеет ряд существенных преимуществ перед другими методами при контроле промышленных объектов:

- ранняя диагностика усталостных повреждений и прогнозирование надёжности оборудования;
- документирование результатов контроля и составление банка данных о фактическом состоянии оборудования;
- экспресс-сортировка объектов контроля по их предрасположенности к разрушениям;
- определение на объекте контроля с точностью до 1 мм места и направления развития будущей трещины.

Метод ММП – это метод неразрушающего контроля, основанный на анализе распределения собственного магнитного поля рассеяния (СМПР) на поверхности изделий с целью определения ЗКН, дефектов и неоднородности структуры металла и сварных соединений.

Собственное магнитное поле рассеяния (СМПР) – магнитное поле рассеяния, возникающее на поверхности изделия в зонах устойчивых полос скольжения дислокаций под действием рабочих или остаточных напряжений и зонах максимальной неоднородности структуры металла [2].

Все металлические изделия в исходном состоянии имеют остаточную намагниченность,

сформировавшуюся естественным образом при их изготовлении. В условиях эксплуатации эта намагниченность изменяется и перераспределяется под действием рабочих нагрузок.

Каждая металлическая опора линий электропередач – это пространственная конструкция, состоящая из 300-600 элементов углового профиля.

При обследовании опор необходимо учитывать изменение интенсивности воздействия агрессивных факторов на элементы конструкций в зависимости от высоты их расположения над поверхностью земли. Из исследований П. Романова (Северо-западное отделение Энергосетьпроекта), которые проводились на всей территории СНГ, было выявлено три характерные зоны по высоте конструкции, отличающиеся условиями и интенсивностью протекания коррозионных процессов (рисунок 1) [1].

I-первая зона. Процесс коррозионного разрушения в этой зоне протекает наиболее интенсивно. Скорость протекания процесса коррозии в этой зоне зависит от фильтрующих способностей грунта, минерального состава и уровня грунтовых вод. Элементы, расположенные в переходной зоне, наиболее подвержены коррозии из-за растительности, способствующей увеличению времени увлажнения элементов. Кроме этого, перепады температуры и влажности ускоряют процессы электрохимической коррозии, протекающие на поверхности земли. Стеkanie атмосферных осадков по поверхности элементов опоры способствуют смыванию загрязнений и отслоившихся защитных покрытий в нижнюю часть конструкции. При этом удержание воды и загрязнений в узлах зависит от конструкции опоры.

II-вторая зона. По условиям протекания процесса характеризуется как атмосферная и определяется степенью агрессивного воздействия атмосферы и влажностью воздуха. Наиболее характерным видом для этой зоны является сплошная равномерная коррозия. Коррозионные повреждения в этой зоне значительно меньше, чем в первой зоне. Однако, в этой зоне надо учитывать элементы, расположенные горизонтально и, особенно, с корытообразным профилем, которые подвержены длительному увлажнению.

III-третья зона. Повреждения в этой зоне убывают с глубиной.

Учет различия скоростей коррозии по высоте конструкций позволяет, производя измерения в одной из зон, оценить величину коррозионных потерь всех элементов конструкции, выделить слабые элементы и повысить долговечность всей опоры за счет усиления при ремонте именно этих элементов [1].

Таблица 1 – Техническая характеристика опоры

Шифр опоры	У110
Район эксплуатации	-30°...40°
Район по гололёду	I-IV
Ветровой район	III
Марка проводов	АС70/11-АС24/32
Марка троса	ТК-9.1
Масса общая, кг	11169
Марка стали	Ст.3 пс

рованию и метрологии RU.C.34.003.A №22257. Прибор предназначен для определения зон концентрации напряжений при экспресс-контроле.

Для более точного позиционирования возможных дефектов и определения ЗКН предварительно был выполнен эскиз элементов опоры (рисунок 2а) с указанием направления перемещения датчика прибора (рисунок 2б).

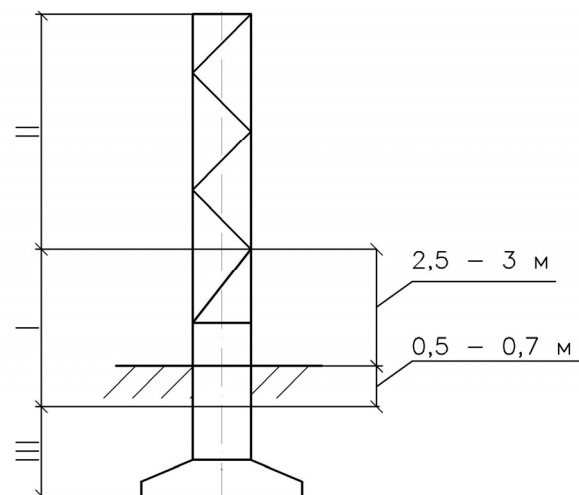


Рисунок 1 – Зоны коррозии металлических конструкций ЛЭП (I-сильная; II-средняя; III-слабая)

В данной работе испытания проводились на металлической опоре №11 действующей линии 110 кВ в районе подстанции 220/110/35 «Восточная» (рисунок 2). Описание и техническая характеристика даны в таблице 1.

Для измерения напряженности магнитного поля H_p по методу ММП использовался прибор типа ИКНМ-2ФП (измеритель концентрации напряжений магнитометрический). Данный прибор имеет Сертификат Федерального агентства по техническому регули-

Измерения поля H_p осуществлялось с внешней и внутренней стороны профиля элементов опоры, при этом датчик прибора располагался перпендикулярно к поверхности элемента.

Результаты обследования отражены в таблице 2 и на графиках распределения поля H_p (рисунок 3).

Таблица 2 – Анализ группы файлов

Обозначение элемента опоры	$K(x)_{\max}$	$m(x)$	$H_{\min}$	$H_{\max}$
Нога ПЗ	15,25	1,661	-135,0	72,0
Нога ЛП	3,50	1,495	-154,0	50,0
Нога ЛЗ	7,50	1,461	-154,0	53,0
Нога ПП	10,00	1,411	-149,0	54,0

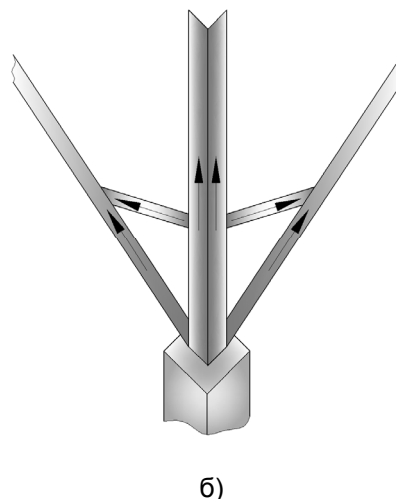
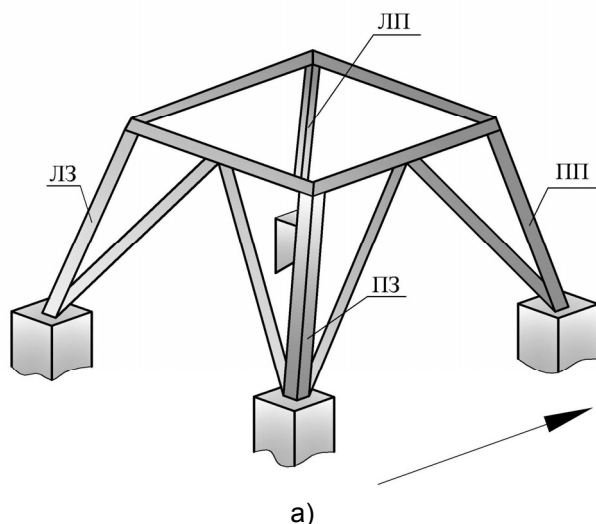


Рисунок 2 – Эскиз опоры (ПЗ-правая задняя нога, ПП-правая передняя нога, ЛЗ-левая задняя нога, ЛП-левая передняя нога)

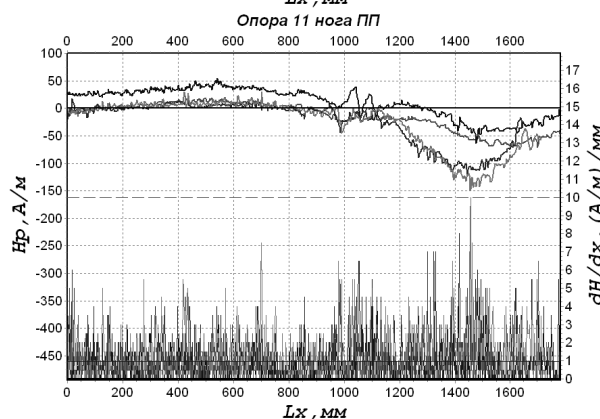
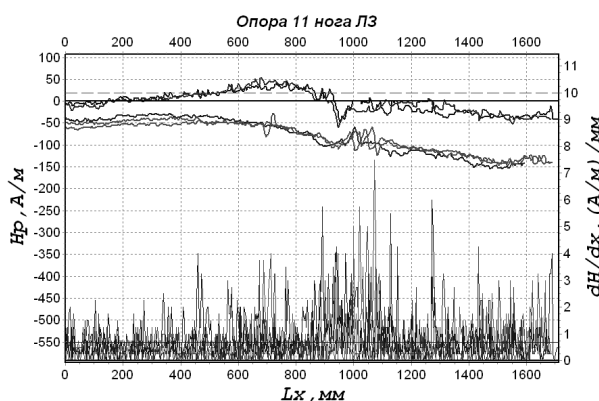
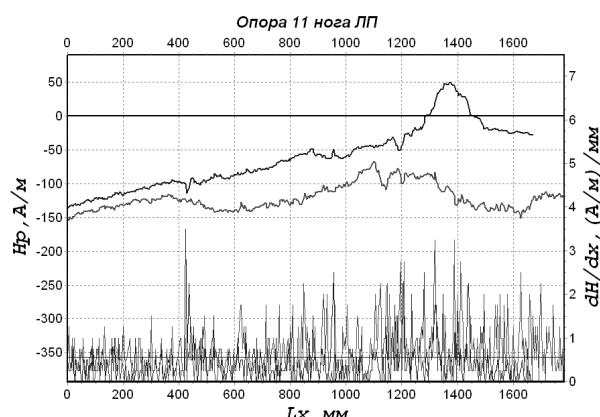
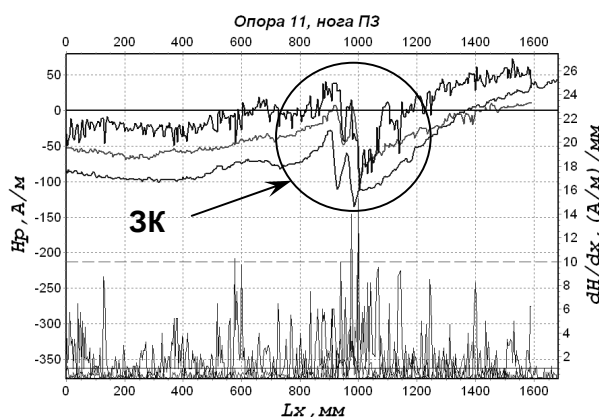


Рисунок 3 – Графики распределения поля H_p опоры №11

Анализ полученных результатов показал, что зона концентрации напряжения находится на правой задней ноге опоры №11, на высоте 1 м от фундамента.

Исследуемая опора установлена в 1958 году. Фактическая наработка на момент обсле-

дования опоры составляет 51 год. Предварительное прогнозируемое время до возникновения усталостного дефекта металла составляет около 20 лет.

Заключение.

1 Проведены экспериментальные исследования методом магнитной памяти металла предельного состояния металла путем сравнения магнитного показателя деформационной способности m_ϕ , выявленного при контроле в ЗКН с предельным значением $m_{пр}$. Исследования проводились на действующей линии 110 кВ в районе подстанции 220/110/35 «Восточная» опоры №11.

2 В результате обследования выявлено, что общее состояние опоры №11, удовлетворительное. Прогнозируемое время до наступления «преддефектного» состояния – 20 лет.

3 Результаты исследования показывают возможность применения Метода магнитной памяти металла для оценки состояния металлических конструкций линий электропередач.

5 Целесообразно провести сравнительные испытания Методом магнитной памяти металла с другими методами, например Методом поверхностных волн Релея (прибор ASTR, разработан СО РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Дёмин, Ю.В. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций в агрессивных средах. В 2 кн. Кн.1. Теоретические основы / Ю.В. Дёмин, Р.Ю. Дёмина, В.П. Горелов; под ред. В.П. Горелова. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 1998. - 209 с.

2 Дубов, А.А. Диагностика котельных труб с использованием магнитной памяти металла / А.А. Дубов. -М.: Энергоатомиздат, 1995. -112 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: диагностика, металлические опоры, метод магнитной памяти металла

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Сычева Наталья Александровна, старший преподаватель ФГОУ ВПО «НГавт»

Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавт»

Мироненко Игорь Геннадьевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавт»

Мозилов Александр Иванович, канд. техн. наук, соискатель ФГОУ ВПО «НГавт»

Палагушкин Борис Владимирович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавт»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

К РАСЧЕТУ КОМПЕНСАТОРА ЖЕСТКОСТИ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ ПОДВЕСКИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.К. Зувев, Ю.И. Ришко, Л.О. Соловьева

TEST OF PROPERTIES OF RIGIDITY COMPENSATOR FOR VIBROINSULATED MOUNT

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.K. Zuev, Yu.I. Rishko, L.O. Solov'eva

The article deals with vibration isolation area. There has been developed the calculation system of long-stroke rigidity compensator of vibroinsulated mount based on possible shift principle. An example of calculation algorithm of the lever-type compensator mechanism is given.

Keywords: vibroinsulated mount, vibration isolator, rigidity compensator, noise and vibration, vibroinsulated calculation

Разработана методика расчета длинноходового компенсатора жесткости виброизолирующей подвески, основанной на принципе возможных перемещений. Приведен пример алгоритма расчета механизма рычажного компенсатора.

Длинноходовой компенсатор жесткости предложен в работах [1]. Это устройство позволяет снизить упругую составляющую динамической силы, действующей на объект виброзащиты со стороны виброизолирующей подвески [2]. Существующие расчеты такого компенсатора представляются весьма сложными и громоздкими [3]. Зачастую при проектировании подвески проще экспериментально подобрать жесткость упругих элементов компенсатора, чем выполнить необходимые расчеты. В данном расчете предложена несложная методика проектировочного расчета длинноходового компенсатора жесткости. Метод основан на принципе возможных перемещений [4], который может быть использован для произвольного механизма, обладающего i -ым количеством упругих звеньев [5]. Достаточно в искомой точ-

ке j механизма приложить некоторую силу $\bar{F}_j$, тогда в упругих связях возникнут силы упругости $\bar{F}_i$ и движение механизма, согласно этому принципу, можно будет описать уравнением

$$\sum_{i=1}^n \bar{F}_i \cdot \delta \bar{s}_i + \bar{F}_j \cdot \delta \bar{s}_j = 0. \quad (1)$$

где $\delta \bar{s}_i$ – бесконечно малое перемещение точки i , под действием силы $\bar{F}_i$;

$\delta \bar{s}_j$ – бесконечно малое перемещение точки j , под действием силы $\bar{F}_j$.

Векторное выражение (1) преобразуем в скалярное, учитывая направления векторов с соответствующими углами

$$\sum_{i=1}^n F_i \cdot \delta s_i \cdot \cos(\hat{\bar{F}_i \delta \bar{s}_i}) + F_j \cdot \delta s_j \cos(\hat{\bar{F}_j \delta \bar{s}_j}) = 0. \quad (2)$$

или, обозначив соответствующие углы между силами и направлениями α_i и α_j ,

$$\sum_{i=1}^n F_i \cdot \delta s_i \cdot \cos \alpha_i + F_j \cdot \delta s_j \cos \alpha_j = 0. \quad (3)$$

Поделив все его члены на бесконечно малое изменение обобщенной координаты $\delta \varphi$, получим

$$\sum_{i=1}^n F_i \cdot \frac{\delta s_i}{\delta \varphi} \cos \alpha_i + F_j \cdot \frac{\delta s_j}{\delta \varphi} \cos \alpha_j = 0. \quad (4)$$

В соответствии с определениями теории машин и механизмов [6] обозначим

– аналог скорости точки i $\frac{\delta s_i}{\delta \varphi} = s'_i(\varphi)$;

– аналог скорости точки j $\frac{\delta s_j}{\delta \varphi} = s'_j(\varphi)$.

Теперь выражение (4) можно представить в виде

$$\sum_{i=1}^n F_i \cdot s'_i \cos \alpha_i + F_j \cdot s'_j \cos \alpha_j = 0, \quad (5)$$

откуда
$$F_j = - \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot s'_i \cos \alpha_i}{s'_j \cos \alpha_j}. \quad (6)$$

Для определения упругих сил F_i достаточно жесткости упругих связей C_i умножить на соответствующие перемещения s_i , тогда получим

$$F_j = - \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot s_i \cdot s'_i \cos \alpha_i}{s'_j \cos \alpha_j}. \quad (7)$$

Теперь, чтобы определить жесткость точки j механизма, необходимо продифференцировать полученную силу по соответствующему перемещению, как сложную функцию

$$C_j(\varphi) = \frac{\delta F_j(\varphi)}{\delta s_j(\varphi)} = \frac{\delta F_j(\varphi)}{\delta \varphi} \cdot \frac{\delta \varphi}{\delta s_j(\varphi)}, \quad (8)$$

или, с учетом выражений для аналогов скорости,

$$C_j(\varphi) = \frac{\delta F_j(\varphi)}{\delta \varphi} \cdot \frac{1}{s'_j(\varphi)}. \quad (9)$$

Рассмотрим механизм рычажного компенсатора жесткости, включающий в себя одну упругую связь (рисунок 1). При этом все остальные звенья механизма принимаем абсолютно жесткими.

Для определения скоростей механизма или их аналогов существует несколько различных графических или аналитических методов. Используя метод «преобразования координат» [7] определим выражения для аналогов скоростей точек А и В по рисунку 1.

Зависимость перемещения точки В от обобщенной координаты x_a найдем как

$$y_B(x_a) = l - \frac{x_a}{\sin[\varphi(x_a)]}. \quad (10)$$

Угол поворота рычага компенсатора

$$\varphi(x_a) = \arcsin\left(\frac{x_a}{l}\right). \quad (11)$$

Проекции аналогов скоростей на оси координат

$$v_{y_B}(x_a) = \frac{dy_B(x_a)}{dx_a}; \quad (12)$$

$$v_{x_B}(x_a) = \frac{dx_a}{dx_a} = 1. \quad (13)$$

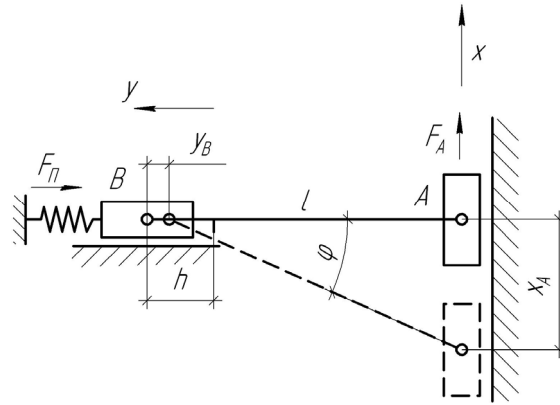


Рисунок 1 – Механизм компенсатора

Упругую силу в точке A найдем из выражения (7) при этом учтем, что направление перемещения точки A и силы упругости в точке B либо совпадают, либо противоположны, что учитывается знаком аналога скорости точки B

$$F_A(x_A) = C_B \cdot y_B(x_A) \cdot \frac{v_B(x_A)}{v_A(x_A)}. \quad (14)$$

Жесткость механизма в точке B, из выражения (9)

$$C_A(x_A) = \frac{dF_A(x_A)}{dx_a}. \quad (15)$$

Определение жесткости механизма в точке можно проводить в любом из математических пакетов на ЭВМ, используя приведенный алгоритм. На рисунке 2 отражены результаты решения данной задачи в программе MathCAD. Длина рычага компенсатора $l = 1$ м, жесткость $C_B = 100$ Н/м.

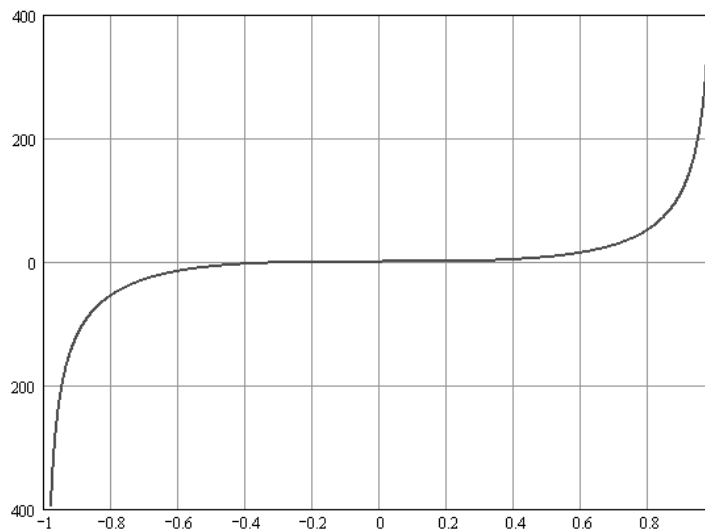


Рисунок 2 – Зависимость упругой силы в точке A от перемещения ползуна 1.

Из графика видно, что компенсатор жесткости, без предварительного натяга, имеет постоянную силу на некотором перемещении. Изменим величину предварительного натяга,

изменяя параметры перемещения точки В на величину h в формуле (14)

$$F_A(x_A) = C_B \cdot (y_B(x_A) - h) \cdot \frac{v_B(x_A)}{v_A(x_A)}.$$

Силловые характеристики для разных величин натяга изображены на рисунке 3.

Зависимость жесткости от перемещения точки А отражена на рисунке 4 для соответствующих значений величины натяга.

Из полученных графиков видно, что силовая характеристика компенсатора изменяется от величины предварительного натяга (поджатия) упругих элементов. Она становится линейной, при условии, если пружина поджата ровно на величину длины рычага. Соответственно (рисунок 4) при той же величине натяга компенсатор имеет постоянную отрицательную жесткость.

Сравнивая полученные результаты расчета компенсатора жесткости с [3, 8] видим их хорошую сходимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 А.с. 1059321 СССР. Корректор жесткости / А.К. Зуев. - Опул. 1983, Бюл. №45.

2 Зуев, А.К. Высокоэффективная виброизоляция судового энергетического оборудования / А.К. Зуев, О.Н. Лебедев. - Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 1997. -119 с.

3 Гросс, В.Ю. Эффективный метод виброизоляции судовых ДВС: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.Ю. Гросс; Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп. -Л., 1987. -23 с.

4 Аппель, П. Теоретическая механика. Т.1. Статика. Динамика точки / П. Аппель; пер. с пятого фр. изд. И.Г. Малкина. -М.: Физматлит, 1960. -517 с.

5 Ришко, Ю.И. К расчету жесткости механизма в точке / Ю.И. Ришко, А.К. Зуев // Сиб. науч. вестн. / Новосиб. науч. центр «Ноосфер. знания и технологии» Рос. акад. естеств. наук. -Новосибирск, 2004. -Вып. VI. -С. 58-60.

6 Левитский, О. Н. Краткий курс ТММ / О.Н. Левитский, Н.И. Левитская. -М.: Высш. шк., 1985. -279 с.

7 Барановский, А.М. Кинематическое исследование плоских рычажных механизмов: метод. указания по САПР ТММ / А.М. Барановский, Ю.И. Ришко. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2002. -36 с.

8 Гритчин, А.А. К исследованию упругих систем с регулируемой жесткостью / А.А. Гритчин // Тр. Новосиб. ин-та инженеров вод. трансп. -1983. -Вып.163: Вопросы виброи-

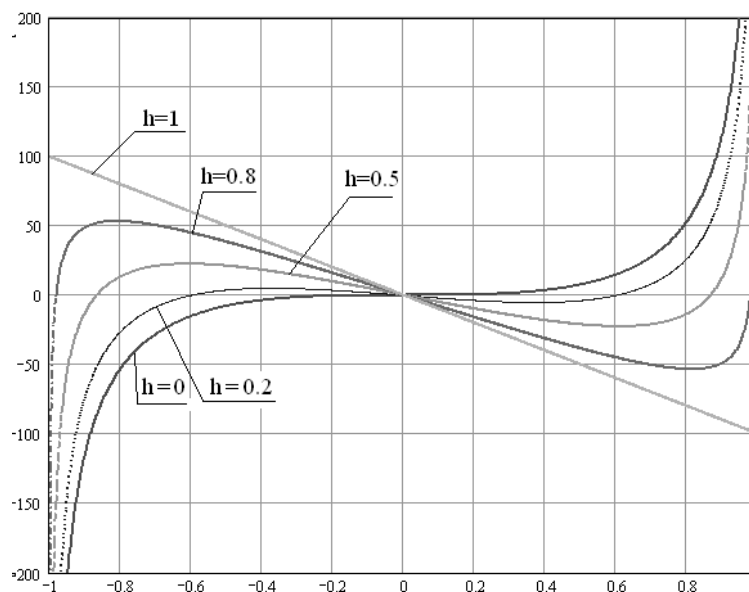


Рисунок 3 – Силовая характеристика компенсатора жесткости в зависимости от величины натяга упругих элементов

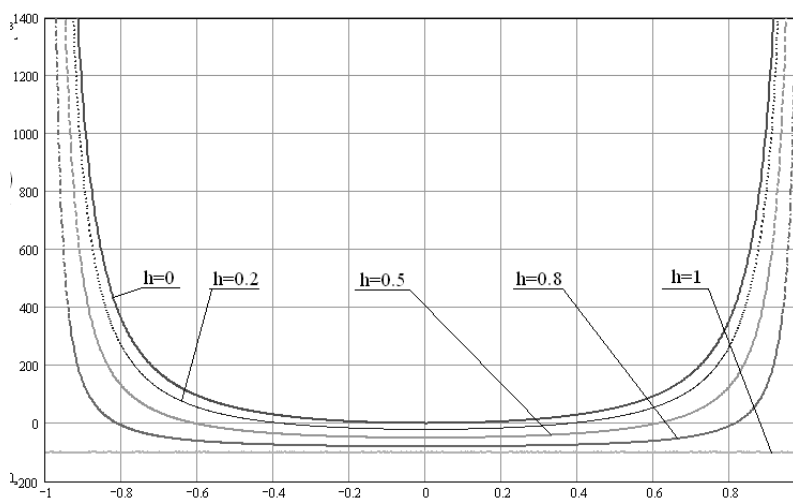


Рисунок 4 – Жесткостные характеристики компенсатора жесткости в зависимости от величины натяга упругих элементов

золяции судовых механизмов и машин. -С. 37-41.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *длинноходовой компенсатор жесткости, принцип перемещений, силовая характеристика, жесткостная характеристика*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Зуев Анатолий Кузьмич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавт»
Ришко Юрий Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГавт»
Соловьева Лидия Олеговна, старший преподаватель ФГОУ ВПО «НГавт»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»*

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИЗАТОРОВ СИМ-6 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕРЫ В ТОПЛИВО-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ

**ФГУП «Сибирский государственный ордена Трудового Красного
Знамени научно-исследовательский институт метрологии»**

Г.В. Шувалов

PRACTICAL USE ANALYZER SIM-6 FOR DETERMINATION OF THE SULPHUR IN FUEL-LUBRIFICANT
«Siberian scientific research institute of metrology»
G.V. Shuvalov

In article are considered questions of the practical application of the instrument of the working checking the contents of the sulphur in fuel-lubricants SIM-6.

Keywords: ship fuel-lubricants, checking the contents of the sulphur in mineral oil

Рассмотрены вопросы практического применения прибора эксплуатационного контроля содержания серы в топливо-смазочных материалах СИМ-6.

Органические соединения серы входят в состав практически всех топливо-смазочных материалов, так как являются природным компонентом сырой нефти. В процессе переработки нефти сера и ее соединения попадают в нефтепродукты в различных концентрациях в зависимости от технологии переработки.

Сернистые соединений не только вызывают коррозию оборудования и загрязнения атмосферы при сгорании, но и могут придавать нефтепродуктам специфический неприятный запах. Кроме того, соединения серы отравляют дорогостоящие катализаторы при переработки нефти и сжигании нефтепродуктов в двигателях, а также, выделяя в атмосферу оксиды серы при сгорании, создают экологические проблемы.

По этой причине, выброс в атмосферу соединений серы, образующихся при сгорании нефтепродуктов, является предметом экологического контроля во всех развитых странах, включая Россию.

При использовании топливо-смазочных материалов определение содержания серы в дизельном топливе является обязательным видом анализа, предусмотренным ГОСТ 305-82 «Топливо дизельное».

В настоящее время разработано достаточное количество методов определения серы в нефтепродуктах, начиная от традиционных химических (сжигание в бомбе или лампе с последующим титрованием), до современных инструментальных, включая ультрафиолетовую и рентгеновскую флуоресценцию. Необходимо отметить, что эти методы относятся к количественному определению суммарного содержания соединений серы (общей серы) в нефти, углеводородных жидкостях, топливах и смазках.

Указанные методы можно условно разделить на 3 группы:

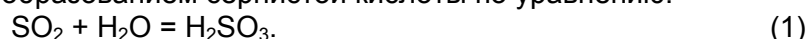
- методы, основанные на окислении серы и последующем определении оксидов;
- методы, основанные на восстановлении серы до H_2S ;
- спектральные методы, основанные на рентгеновском излучении и атомно-эмиссионные.

Несмотря на преимущества спектральных методов определения содержания серы, широкое внедрение их в лабораторную практику в России до настоящего времени не произошло. Это связано прежде всего с высокой стоимостью таких анализаторов (0,8-1,0 млн. руб.). В большинстве лабораторий используются различные методы, основанные на окислении серы и последующем определении оксидов.

Одним из таких методов является ламповый метод определения серы ГОСТ 19121, который, в свою очередь, является упрощенным вариантом ASTM D1266. В этом методе пре-

небрегают образованием окислов азота при сгорании (сжигание продукта выполняется в атмосфере естественного воздуха), а окончание метода титриметрическое. Кроме этого, образовавшуюся при сгорании двуокись серы не окисляют до сульфата, а титруют напрямую в виде нестабильного сульфита, что может приводить к потере точности. Нижняя граница определяемых содержаний 0,01%. Вместе с тем, точностные характеристики данного метода позволяют использовать его для определения содержания серы в судовых топливах, поэтому актуальным является совершенствование и модернизация указанного метода.

Ламповый метод определения серы ГОСТ 19121 по сути является методом разложения, который заключается в сжигании пробы материала с последующим определением образующегося сернистого ангидрида SO_2 . Методика измерения предусматривает сжигание строго дозированной навески вещества, улавливание сернистого газа и поглощение его адсорбирующим веществом, а также количественное определение SO_2 одним из физико-химических методов [1]. При этом в качестве поглотителей чаще всего используют дистиллированную воду, которая хорошо поглощает сернистый ангидрид. Растворение сернистого ангидрида в воде сопровождается образованием сернистой кислоты по уравнению:



Полученная кислота является слабой, неустойчивой в водных растворах. Ввиду нестабильности сернистой кислоты, она не может использоваться для количественных определений, так как легко разлагается под действием различных влияющих факторов (свет, температура, электрический ток). Поэтому, для анализа сернистых соединений сернистую кислоту доокисляют до сильной и устойчивой серной кислоты H_2SO_4 , применяя различные химические методы. В этом случае, именно концентрация H_2SO_4 в растворе будет пропорциональна содержанию серы в определяемом материале. Для ее количественного определения чаще всего используют реакцию осаждения сульфата бария. Однако этот метод пригоден лишь для лабораторных исследований, и к тому же не обладает достаточной чувствительностью. Ранее было предложено [3], для увеличения чувствительности определения серы измерять электропроводность образовавшейся серной кислоты. Таким образом, кондуктометрический метод оказался весьма перспективным для определения содержания серы. Последующие исследования подтвердили возможность его применения для определения содержания серы в автомобильных и судовых топливах.

Измерение электропроводности растворов осуществлялось в кондуктометрической ячейке, к конструкции которой предъявляются определенные требования, главное из которых – это неизменность постоянной ячейки [2]. В последующем для измерений использовалась кондуктометрическая ячейка, состоящая из двух электродов в виде параллельных цилиндрических стержней из графита диаметром 2 мм.

Для определения сопротивления ячейки при измерениях использовалась схема трансформаторного моста с индуктивной связью между элементами, образующими плечи отношений. Основные преимущества такого трансформаторного моста – широкий частотный диапазон и малая погрешность. Эти свойства обусловлены тем, что паразитные емкости и активные сопротивления, которые шунтируют индуктивно связанные плечи, не изменяют соотношения плеч и тем самым не приводят к возникновению дополнительных погрешностей. Кроме того, из-за практического отсутствия зависимости отношения индуктивно связанных плеч моста от влияния внешних условий (влажность, температура, электромагнитные поля и т.д.) трансформаторные мосты не требуют особых мер электрической защиты. В трансформаторном мосте индуктивные плечи моста являются двумя секциями вторичной обмотки трансформатора. Первичная обмотка соединена с источником переменного тока, который питает мост.

Измерения с использованием описанного трансформаторного моста проводились в неуравновешенном режиме работы моста с измерением разбаланса моста в его диагонали. Для этого в диагональ включалось низкоомное постоянное сопротивление порядка 1 Ом, падение напряжения, на котором использовалось в качестве измерительного сигнала, пропорционального концентрации исследуемого раствора. Кроме того, использовалось установление начального равновесия моста (установка «нуля»). Необходимость такой установки связано с тем, что дистиллированная вода, заливаемая в кондуктометрическую ячейку, может иметь незначительный разброс по величине начальной электрической проводимости, связанный с условиями ее хранения и использования (загрязнение аналитической посуды, кондуктометрической ячейки и др.). Поэтому каждый раз перед проведением измерений проводится установка «нуля». Питание трансформаторного моста осуществлялось путем

подачи напряжения на первичную обмотку трансформатора. Величина его регулировалась таким, чтобы на каждой из вторичных обмотках напряжение равнялось 12 В.

На частоте 50 Гц была экспериментально исследована электропроводность дистиллированной воды при поглощении ею сернистого ангидрида SO_2 от сжигания проб топлива с разным содержанием серы. Для этого в специально изготовленной горелке проводилось постепенное (в течение 30-40 минут) сжигание 1 мл дизельного топлива при постоянном контролируемом расходе топлива $(0,03-0,05) \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{мин}$. Величина расхода регулировалась таким образом, чтобы сгорание топлива происходило в виде спокойного ровного пламени высотой 5-7 мм без образования копоти. Соблюдение указанных условий необходимо для того, чтобы исключить неполное сгорание топлива, которое приводит к потере SO_2 в продуктах сгорания и возникновению погрешности измерений.

Для повышения стабильности измерений было предложено проводить окисление сернистого ангидрида озоном, постоянно подаваемым в определенном количестве в реакционную зону. Для этого озон вводился непосредственно в дистиллированную воду барботированием и благодаря своей хорошей растворимости (при 20 °С – 0,688 г/л) насыщал ее. В присутствии воды происходит быстрое окисление сернистого газа озоном до серной кислоты, что позволило рекомендовать данный способ подготовки пробы для практического применения.

С использованием разработанного метода было установлено, что при измерении серы в нефтепродуктах в диапазоне $(0,08-1,4) \cdot 10^3 \text{ г/м}^3$ окисление сернистого ангидрида озоном в водном растворе происходит по линейному закону.

Используя полученные результаты была разработана методика определения серы в нефтепродуктах с использованием кондуктометрического метода, а также прибор с использованием этого метода.

Структурная схема прибора включает в себя следующие основные элементы (рисунок 1):

- рабочая и сравнительная кондуктометрические ячейки 8 и 9 с электродами для измерения проводимости раствора 10, 11;
- бесфитильная горелка для сжигания определенного объема дизельного топлива 14;
- аспиратор 12 для прокачивания SO_2 через измерительную ячейку;
- дозатор 15;
- генератор озона 7 с компрессором 6;
- схема измерения 2 со схемой управления 3;
- блок питания 4.

Работает прибор следующим образом: испытуемый нефтепродукт (или его раствор в разбавителе) сжигается в горелке 14, в которую он попадает с помощью дозатора 15. Продукт сгорания с помощью воздушного насоса (аспиратора) 12 проходит через ламповое стекло 13 и просасывается через поглотительный раствор в кондуктометрической ячейке 9. В качестве поглотительного раствора в ячейке используется дистиллированная вода, в которую от генератора озона 7 через компрессор 6 подается воздушно-озонная смесь. В измерительной ячейке происходит окисление SO_2 озоном до серной кислоты. При этом содержание серной кислоты является пропорциональным содержанию SO_2 , а, следовательно, и содержанию сернистых соединений в исходном нефтепродукте. Изменение проводимости поглотительного раствора регистрируется измерительной схемой 2, пересчитывается в конкретное значение содержания серы и выдается на жидкокристаллический индикатор 1.

Процесс горения топлива в горелке должен осуществляться плавно и равномерно, для того чтобы весь нефтепродукт сгорал полностью. В противном случае возможно появление погрешности измерения из-за неполного превращения серы в сернистый ангидрид. Для равномерной подачи топлива в горелку 14 служит дозатор 15, основанный на методе вытеснения топлива газом, образующемся в электролизере при пропускании электрического постоянного тока.

Через определенное время (приблизительно 20 мин.) необходимо отметить визуально сгорание одного миллиметра. После этого необходимо считать показания с индикатора прибора.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований установлено, что для определения содержания серы в органических веществах можно эффективно использовать кондуктометрический метод. Практическая реализация данного метода позволила на его ос-

новые разработать прибор анализа серы СИМ-6 в нефтепродуктах [4].

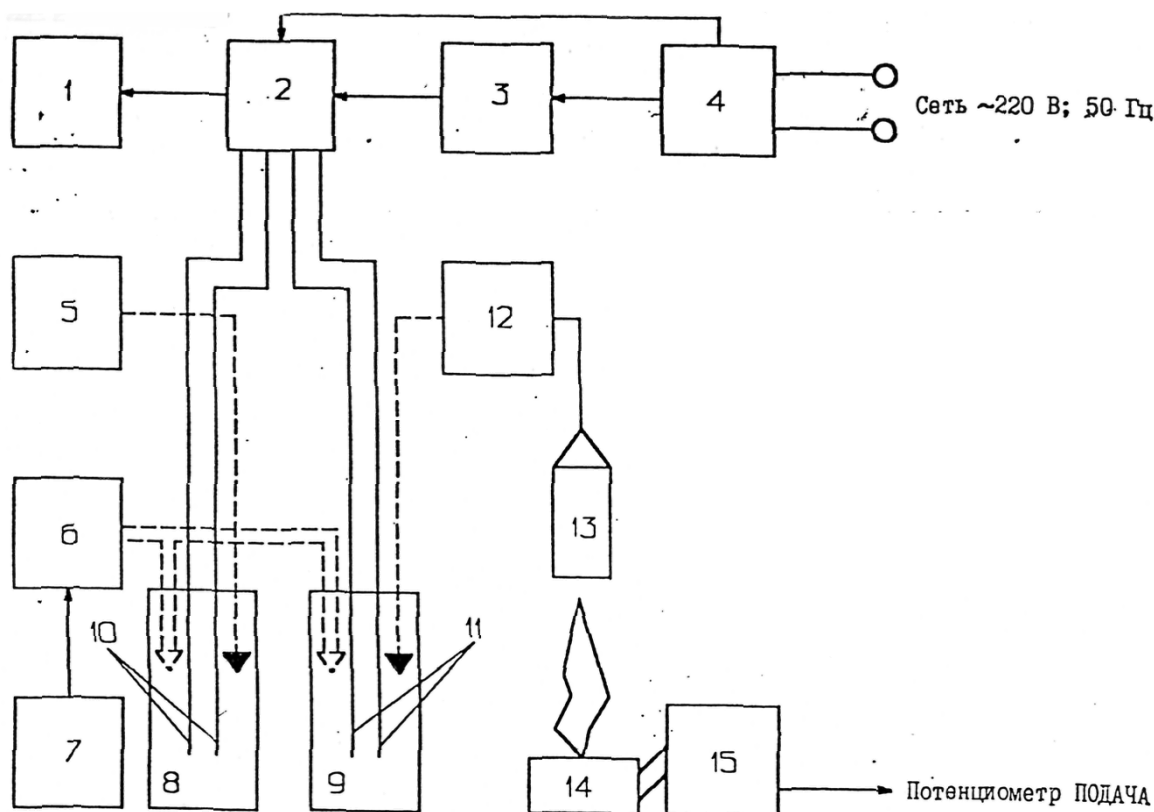


Рисунок 1 – Структурная схема анализатора СИМ-6

В настоящее время уже выпущено более 50 анализаторов содержания серы СИМ-6 в нефтепродуктах. Это позволило обобщить опыт эксплуатации анализаторов и провести оценку показателей прецизионности (повторяемости и воспроизводимости) применяемого метода измерения.

Оценка показателя повторяемости метода измерения проводилась с использованием среднеарифметических X_{mi} и выборочных дисперсий S_{mi}^2 результатов единичных измерений содержания серы в m -м аттестованном образце, полученных в условиях повторяемости (параллельных определений) по выражению:

$$X_{mi} = \frac{\sum_{i=1}^N X_{mli}}{N}; \quad (2)$$

$$S_{mi}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{mli} - X_{mi})^2}{N - 1}, \quad (3)$$

где m – номер образца, $m = 1, \dots, M$;

l – количество серий единичных измерений, $l = 1, \dots, L$.

Для дизельного топлива были получены следующие значения:

а) $X_{mi} = 0,11$; $S_{mi}^2 = 0,0005$; б) $X_{mi} = 0,14$; $S_{mi}^2 = 0,0003$; в) $X_{mi} = 0,19$; $S_{mi}^2 = 0,0005$.

Для бензина:

а) $X_{mi} = 0,04$; $S_{mi}^2 = 0,00003$; б) $X_{mi} = 0,05$; $S_{mi}^2 = 0,00004$; в) $X_{mi} = 0,07$; $S_{mi}^2 = 0,00005$.

Показатель повторяемости методики анализа – σ_{rm} для содержания серы, соответствующего содержанию ее в m -м аттестованном образце, устанавливают, принимая равным S_{rm}

$$\sigma_{rm} \approx S_{rm}.$$

Показатель повторяемости методики измерений в виде предела повторяемости – r_{nm} для содержания, соответствующего содержанию серы в m -м аттестованном образце, рассчитывают по формуле

$$r_{nm} = Q(P, n) \sigma_{rm}, \quad (4)$$

где n – число параллельных определений, предусмотренных методикой анализа для получения результата,

$$Q(P, n) = 2,77, \text{ при } n = 2, P = 0,95;$$

$$Q(P, n) = 3,31, \text{ при } n = 3, P = 0,95.$$

Таким образом, при среднем числе определений равным двум:

– для дизельного топлива $r_{nm} = 0,001$;

– для бензина $r_{nm} = 0,0001$.

Полученное значение предела повторяемости используют при проверке приемлемости результатов единичного анализа при проведении испытаний нефтепродуктов на содержание серы.

Аналогично проводится оценка показателя воспроизводимости методики анализа. Сначала рассчитывают выборочное среднеквадратичное отклонение (СКО) результатов измерений серы для m -го аттестованного образца, полученных в условиях воспроизводимости, – S_{Rm} по формуле (таблица)

$$S_{Rm} = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^L (X_{ml} - X_m)^2}{L-1} + \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{N}\right) S_{rm}^2}, \quad m = 1, \dots, M, \quad (5)$$

где X_m – общее среднее значение результатов анализа, полученных в условиях воспроизводимости,

$$X_m = \frac{\sum_{l=1}^L X_{ml}}{L}. \quad (6)$$

Показатель воспроизводимости методики анализа в виде СКО – σ_{Rm} для содержания серы, соответствующего содержанию ее в m -м аттестованном образце, устанавливают, принимая равным S_{Rm}

Таблица 1 – Результаты расчета S_{Rm}

Измерение	для дизельного топлива	для бензина
а)	0,014	0,002
б)	0,007	0,001
в)	0,007	0,001

$$\sigma_{Rm} \approx S_{Rm}. \quad (7)$$

Показатель воспроизводимости методики измерений в виде предела воспроизводимости – R_m рассчитаны в таблице 2

$$R_m = Q(P, 2) \sigma_{Rm}, \quad (8)$$

где $Q(P, 2) = 2,77$ при $P = 0,95$.

Таблица 2 – Результаты расчета R_m

Измерение	для дизельного топлива	для бензина
а)	0,04	0,006
б)	0,02	0,003
в)	0,02	0,003

Полученные характеристики точности позволяют проводить сопоставление результатов измерений, выполненных как в одной, так и в различных лабораториях с применением приборов СИМ-6.

Кроме того, опыт эксплуатации приборов СИМ-6 показал, что имеются замечания по работе аспиратора анализатора. Этот недостаток заключается в том, что со временем в результате частичного засорения соединительных шлангов наблюдается недостаточная скорость аспирации продуктов сгорания испытуемого топлива. Для устранения этого недостатка был использован более мощный компрессор со скоростью прокачки 2,5 л/мин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ваня, Я. Анализаторы газов и жидкостей / Я. Ваня. -М.: Энергия, 1970.
- 2 Худякова, Т.Н. Теория и практика кондуктометрического и хромокондуктометрического анализа / Т.Н. Худякова, А.П. Крешков. -М.: Химия, 1976.

3 Шувалов, Г.В. Прибор для определения соединений серы в нефтепродуктах / Г.В. Шувалов // Материалы 6 международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2002»: сб. тр. -Новосибирск, 2002. -Т.3. -С. 135-137.

4 Шувалов, Г.В. Опыт практического применения анализаторов СИМ-6 для определения серы в нефтепродуктах / Г.В. Шувалов // Материалы 6 международной выставки и научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2010»: сб. тр. -Новосибирск, 2010. -Т.5, Ч.2. -С. 155-158.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: судовые топливо-смазочные материалы, контроль содержания серы в нефтепродуктах

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, заместитель директора по научной работе ФГУП «СНИИМ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630004, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»

РАЗРАБОТКА ПРИБОРОВ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СУДОВЫХ ТОПЛИВО-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИХ ПРИМЕНЕНИИ В СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

ФГУП «Сибирский государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт метрологии»

Г.В. Шувалов

DEVELOPMENT INSTRUMENT FOR WORKING CHECKING SHIP FUEL-LUBRICANT UNDER THEIR USING IN SHIP POWER PLANTS

«Siberian scientific research institute of metrology»

G.V. Shuvalov

Questions of the creation instrument working checking fuel-lubricants are considered In article for mobile ship laboratory.

Keywords: ship fuel-lubricants, mobile ship laboratory

Рассмотрены вопросы создания приборов эксплуатационного контроля топливо-смазочных материалов для мобильной судовой лаборатории.

С расширением применения смесевых и альтернативны топлив на судах речного флота повышаются требования к свойствам компонентов топлив, их качеству и обязательному контролю. Комплекс требований, предъявляемых к параметрам топливо-смазочных материалов для судовых установок изложен в ряде нормативных документов, в частности национальных стандартах ГОСТ 305-82, ГОСТ Р 52368-2005, ГОСТ 10433, ГОСТ 1667, ГОСТ 10585. В них нормируются эксплуатационные и физико-химические характеристики дизельного топлива и мазута, применяемых на судах.

Однако, качество топлива, поступающие на суда речного флота, часто отличается от стандартного, в основном из-за нарушения условий транспортировки и хранения. Это может приводит к отказу судовых дизелей и, как следствие, к возникновению технико-экономических потерь. Поэтому возникает необходимость постоянного контроля качества топлива на судах при их хранении и использовании. Кроме этого на суда речного флота в последнее время все чаще используются водотопливные эмульсии, качество приготовления которых требует постоянного контроля.

Обеспечить постоянный контроль качества нефтепродуктов на судах возможно несколькими путями. Среди них можно назвать упрощение процедур анализа, а также осуществление контроля непосредственно в тех местах, где хранится и используется нефтепродукт.

Наиболее эффективным способом контроля качества топлива является применение специализированных мобильных (иногда и переносных) лабораторий, оснащенных необходимыми средствами измерений. Их применение дает возможность создать надежную систему контроля качества судовых топлив при приемке, хранении и подготовке топлива и водотопливных эмульсий на судах речного флота.

Для осуществления оперативного контроля качества нефтепродуктов на суда речного флота в Сибирском научно-исследовательском институте метрологии в настоящее время разрабатывается вариант комплектной лаборатории анализа нефтепродуктов «КЛАН-1» модификации «С».

В состав лаборатории входит комплект измерительных приборов (анализаторов), изме-

нительное и вспомогательное оборудование.

Количество измеряемых параметров нефтепродуктов и водотопливных эмульсий определяется объемом проводимого анализа (приемо-сдаточный, контрольный или полный).

Мобильные лаборатории для измерения параметров нефтепродуктов будут оснащаться средствами измерений, которые изготавливаются в Сибирском научно-исследовательском институте метрологии. Перечень этих приборов приведен в таблице.

Таблица – Перечень приборов для измерения параметров судовых топлив

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерения	Пределы допускаемой погрешности	Наименование средства измерений
Измерение содержания воды, %	0,01-2,0	±10%	Анализатор СИМ-4
Измерение температуры вспышки (дизельное топливо и масла), °С	20-200 100-300	±5 °С	Анализатор СИМ-5
Измерение содержания серы в нефтепродуктах, г/дм ³	0,08-4,00	0,005-5,00	Анализатор СИМ-6
Измерение плотности, г/см ³	0,7736-0,8879	±0,0005 г/см ³	Анализатор СИМ-7
Диапазон измерения кинематической вязкости, мм ² /с	3,69-9,78	±1,2%	Анализатор СИМ-8
Разгонка нефтепродуктов, °С	35-370	–	Анализатор СИМ-10
Измерение содержания механических примесей, %	(0,1-1,0)10 ⁻⁴	±10%	Анализатор СИМ-12

Все приборы, входящие в состав судовой мобильной лаборатории, прошли государственные испытания и утверждены Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии в качестве средств измерений. Большинство из указанных приборов реализуют стандартные методы испытаний нефтепродуктов, изложенные в соответствующих государственных стандартах (за исключением определения механических примесей). Все приборы относятся к группе автоматизированных анализаторов по ГОСТ 16851-71, когда отбор проб производится оператором вручную, а измерение параметров осуществляется автоматически и выдается на индикаторе прибора в цифровом виде.

В комплект судовой мобильной лаборатории может входить персональная ЭВМ «NOTE BOOK» для ведения базы данных результатов анализа и их вывода в виде протокола стандартной формы. Кроме того, имеется база нормативных данных параметров судовых топлив и масел, что позволяет оперативно контролировать отклонение измеряемых параметров от их номинальных значений.

Мобильная судовая лаборатория представляет собой комплекс перечисленных средств измерений, которые могут быть смонтированы на борту судна. Для их размещения требуется дооснащение салона каюты судна. Салон лаборатории должен быть покрыт слоем пластика с поверхностью, не впитывающей пары топливо-смазочных материалов. Для размещения приборов салон каюты снабжается необходимой лабораторной мебелью, которая состоит из стола, вытяжного зонда с вентилятором, шкафа для рабочей одежды и умывальника. Часть малогабаритных приборов (СИМ-4, СИМ-12) для компактности и удобства работы сгруппирована в приборную стойку.

В нижней части лабораторного стола смонтированы выдвижные ящики, в которых хранится лабораторная посуда, вспомогательные материалы и химические реактивы. Снизу стола закреплена герметичная емкость для утилизации нефтепродуктов после проведения испытаний. Рабочее пространство в салоне каюты спланировано таким образом, что позволяет организовать два полноценных рабочих места операторов для проведения анализов нефтепродуктов.

Электропитание приборов осуществляется с помощью сети напряжением 220 В. Дополнительно по периметру салона автомобиля выполнено защитное заземление. В случае необходимости, для организации автономного питания приборов и оборудования может быть использована бензиновая переносная электростанция мощностью не менее 3 кВт.

Мобильная лаборатория прошла государственные испытания и внесена в Государственный реестр средств измерений (сертификат №26145-03 от 19.01.2004 г).

Особенностью лаборатории является то, что в ускоренные сроки на ней можно провести анализ дизельного топлива и моторных масел по основным параметрам с выдачей протокола испытаний. Время, необходимое для проведения анализов, как показывает практика, составляет не более 1,5 ч.

В 2002-2009 годах аналогичные мобильные лаборатории (автомобильный вариант) были изготовлены для ФГУП «Госэнергонадзор по Курганской области» и ФГУП «Госэнергонадзор по республике Марий-Эл», ООО «Красноярскнефтепродукт», а также в Республику Казахстан «Казмунай газ» и Республику Узбекистан (Навоинский ГОК).

За указанный период времени в процессе проведения инспекционных проверок качества нефтепродуктов был сформулирован ряд дополнительных требований по оснащению и эксплуатации мобильных лабораторий.

Таким образом, создаваемая мобильная лаборатория «КЛАН-1» для условий применения на судах речного флота позволяет решать задачу осуществления оперативного инструментального контроля качества судовых топливо-смазочных материалов, что особенно актуально в связи с введением Технического регламента, определяющего обязательные требования к судовому топливу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ясырова, О.А. Разработка метода определения плотности нефтепродуктов / О.А. Ясырова, Г.В. Шувалов // Сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп., Иртыш. фил.; сост. В.А. Глушец. -Омск, 2008. -Вып.6. -С. 367-370.

2 Экономия горючесмазочных материалов при работе двигателей внутреннего сгорания / Г.В. Шувалов [и др.] // Сиб. науч. вестн. -Новосибирск, 2003. -Вып.VI. -С. 49-52.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: судовые топливо-смазочные материалы, мобильная судовая лаборатория
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, заместитель директора по научной работе ФГУП «СНИИМ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630004, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВОГО ТРАКТА ДИЗЕЛЯ С ДВОЙНОЙ СИСТЕМОЙ ВЫПУСКА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

А.А. Балашов, А.Е. Свистула, Г.В. Пыжанкин, В.С. Яров

DEFINITION OF THROTTLING CHARACTERISTICS OF THE GAS PATH OF THE DIESEL ENGINE EQUIPPED WITH DOUBLE EXHAUST SYSTEM

«Altay state technical university named I.I. Polzunov»
A.A. Balashov, A.E. Svistula, G.V. Pyzhankin, V.S. Jarov

Results of a static purge of the basic and additional exhaust system of the engine with double exhaust system are given. Dynamics of change of effective throats, flow coefficients and fluid dynamics losses is shown. Results can be used at calculation of gas exchange processes of the engine with double exhaust system.

Keywords: the engine, exhaust system, throttling characteristic, gas exchange

Приведены результаты статической продувки основной и дополнительной системы выпуска двигателя с двойной системой выпуска. Показана динамика изменения эффективных проходных сечений, коэффициентов расхода и газодинамических потерь. Результаты могут быть использованы при расчете процессов газообмена двигателя с двойной системой выпуска.

Попытка создания энергоэффективного поршневого двигателя внутреннего сгорания (ПДВС) привела к разработке 4-тактного двигателя с двойным выпуском отработавших газов (ОГ), основное конструктивное отличие которого состоит в том, что в гильзе цилиндра на уровне, соответствующем положению поршня в нижней мертвой точке (НМТ), выполнено окно. Выпуск ОГ осуществляется через выпускной клапан и через окно в гильзе, направляя выпускные газы в общий выпускной коллектор, поэтому рассматриваемый двигатель получил рабочее название «двигатель с двойной системой выпуска» или «двигатель с окном в гильзе» (ДОГ) [1].

Для выполнения газодинамического расчета систем газообмена ДОГ требуется знать коэффициенты расхода μ и газодинамических потерь ξ , полученные экспериментальным путём [2-4].

Методика и результаты расчетно-экспериментального исследования. Для проведе-

ния исследования системы газообмена выбран 4-цилиндровый 4-тактный дизель воздушно-го охлаждения 4Ч10,5/12 (Д-144), так как отсутствие жидкостной рубашки охлаждения без затруднений позволяет выполнить окна в гильзах цилиндров и организовать дополнительный выпуск ОГ.

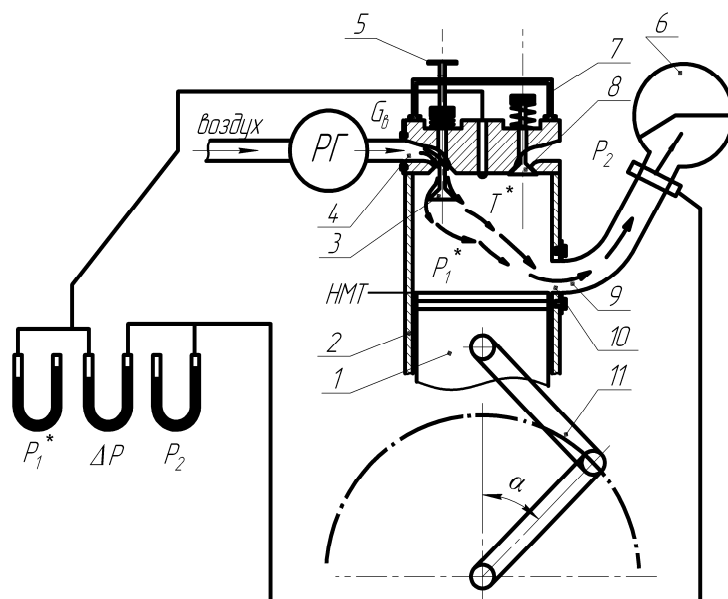
Для статической продувки воздухом [2, 5] (при абсолютном давлении $P_1^* \leq 0,115$ МПа) выпускных каналов с клапанами и окон в гильзах цилиндров созданы экспериментальные низконапорные установки (рисунок 1 и 2). Избыточное давление P_p и температура T_p измеряются перед расходомерами, избыточное заторможенное давление P_1^* и температура T^* – на входе потока в продуваемую систему. На участке «клапан-канал» или «цилиндр – дополнительный выпускной канал» измеряется перепад давлений ΔP . Кроме того, за дополнительным каналом или выпускным клапаном (на выходе потока) измеряется избыточное статическое давление P_2 (рисунок 1 и 2).

Измерение давлений выполняется с помощью водяных U-образных пьезометров, а отбор статического давления P_2 осуществляется по периметру канала с целью учета влияния неравномерности скорости потока по его сечению. Измерение температур t_p и t_1^* осуществляется с помощью хромель-копелевых термодпар. Температура t_p измеряется перед каждым расходомером.

При продувке основных и дополнительных каналов перепад давления $\Delta P = P_1^* - P_2$ поддерживается постоянным. Продувка производится при перепадах давлений $\Delta P = 0,005; 0,01; 0,015; 0,02$ МПа.

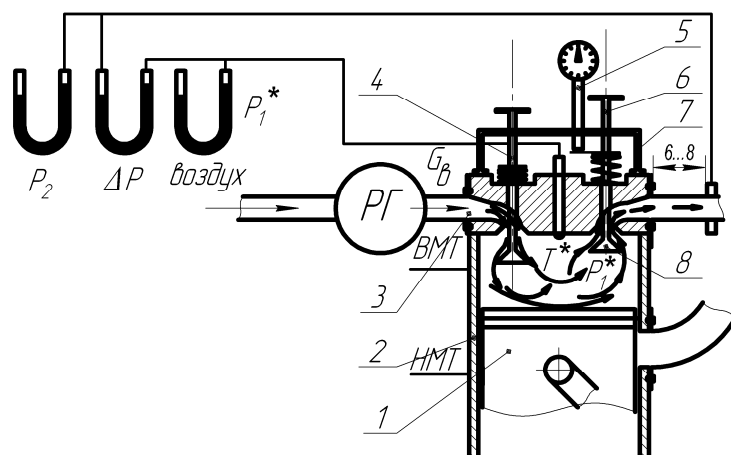
Продувка основной системы выпуска отработавших газов производится по ходу клапана, а дополнительной по ходу поршня. При движении поршня от ВМТ к НМТ на такте рабочего хода за 40° до прихода его в НМТ открывается выпускной клапан, и на протяжении 240° по углу поворота коленчатого вала происходит основной выпуск. Проходное сечение дополнительного выпуска открывается несколько позже, то есть примерно за $20-30^\circ$ ПКВ до прихода поршня в НМТ, тогда продолжительность его открытия будет $40-60^\circ$ ПКВ (рисунок 3).

Обработка экспериментальных данных по статической продувке основной и дополнительной систем выпуска ОГ производилась по методике [2, 5].



1-поршень; 2-цилиндр; 3-впускной клапан; 4-впускной канал; 5-нажимное устройство; 6-выпускной коллектор; 7-стойка; 8-выпускной клапан; 9-дополнительный выпускной канал; 10-выпускное окно в цилиндре; 11-шатун; α - угол поворота коленчатого вала ($^\circ$ ПКВ)

Рисунок 1 – Схема установки для продувки дополнительного выпускного канала



1-поршень; 2-цилиндр; 3-впускной канал; 4-впускной клапан; 5-индикатор типа ИЧ; 6-нажимное устройство; 7-стойка; 8-выпускной клапан

Рисунок 2 – Схема установки для продувки основного выпускного канала с клапаном

При расчете расходных характеристик системы газообмена двойного выпуска ОГ необходимо иметь данные об изменении проходных сечений щели выпускного клапана $F_{кл}$ основной системы выпуска ОГ по его ходу или углу поворота коленчатого вала и изменении эффективных проходных сечений $\mu F_{кл}$, а также коэффициентов расхода μ и газодинамических потерь ξ . То же самое необходимо иметь для системы дополнительного выпуска только не по ходу клапана, а по ходу поршня.

Теоретическое проходное сечение дополнительного выпускного канала представляет собой щель или сегмент, образуемый дугой отверстия в цилиндре и поршнем, движущимся возвратно-поступательно (рисунок 4).

$$h_n = r - \frac{1}{2} \sqrt{4r^2 - a^2}; \quad (1)$$

$$F_\partial = \frac{1}{2} [rl - a(z - h_n)]; \quad (2)$$

$$l = 0,01745 r \varphi; \quad (3)$$

$$a = 2\sqrt{h_n(2r - h_n)}; \quad (4)$$

где l — длина дуги отверстия;
 a — хорда;
 r — радиус отверстия;
 φ — центральный угол в градусах;
 h_n — перемещение поршня.

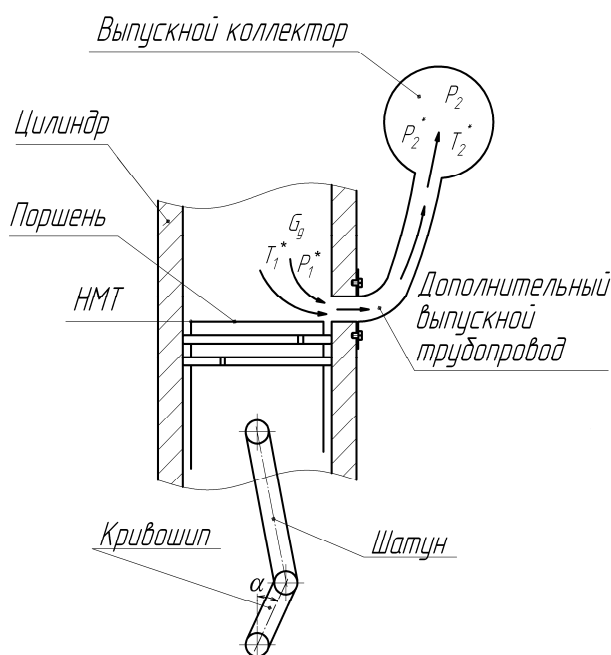


Рисунок 3 – Расчетная схема системы дополнительного выпуска

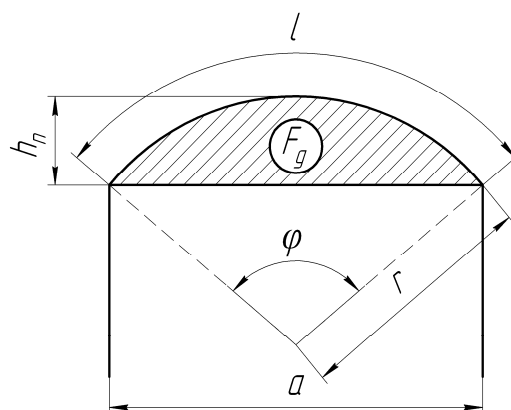


Рисунок 4 – Схема для определения проходного сечения F_∂ (круглое отверстие) дополнительного выпуска

Теоретическое проходное сечение клапанной щели $F_{кл}$ основной системы выпуска ОГ обычно определяется по общепринятой методике Н.М. Глаголева [6]. Минимальное теоретическое проходное сечение щели клапана $F_{кл}$ представляет собой боковую поверхность усеченного конуса, одно из оснований

которого находится на уплотняющей конической поверхности тарелки клапана, а другое – на уплотняющей фаске седла. Поэтому можно выделить три характерных участка по подъему клапана $h_{кл}$ (рисунок 5).

На первом участке величина $F_{кл}$ определяется по формуле

$$F_{кл1} = \pi h_{кл} \left(d_{кв} + \frac{1}{2} h_{кл} \sin 2\varphi \right) \cos \varphi, \quad (5)$$

где

$$0 \leq h_{кл} \leq \frac{d_{кн} - d_{кв}}{\sin 2\varphi}.$$

Первый участок заканчивается там, где перпендикуляр из точки А пересечет коническую поверхность седла в точке В.

На втором участке

$$F_{кл2} = \frac{\pi(d_{кн} - d_{кв})}{2} \sqrt{\left(\frac{d_{кн} - d_{кв}}{2}\right)^2 + \left(h_{кл} - \frac{d_{кн} - d_{кв}}{2} \operatorname{tg} \varphi\right)^2}, \quad (6)$$

где $d_{кн}$ – наружный диаметр тарелки клапана;
 $d_{кв}$ – внутренний диаметр тарелки клапана;
 φ – угол фаски клапана.

Второй участок заканчивается, когда

$$F_{кл} = F_r = \frac{\pi}{4}(d_{св}^2 - d_0^2), \quad (7)$$

где F_r – проходное сечение горловины клапана;
 $d_{св}$ – внутренний диаметр седла клапана (по верхней кромке фаски);
 d_0 – диаметр стержня клапана.

На третьем участке

$$F_{кл.3} = F_{кл.2} = \text{Const}. \quad (8)$$

В результате обработки данных статической продувки по методике [2, 5] получены коэффициенты расхода μ и газодинамических потерь ξ как для основной системы выпуска ОГ, так и для дополнительной.

Для основной системы выпуска проведен расчет и определены теоретические проходные сечения щели выпускного клапана $F_{кл}$ по углу поворота коленчатого вала или по ходу клапана, а также получены с учетом изменения коэффициента расхода μ эффективные проходные сечения щели клапана $\mu F_{кл}$ (рисунок 6). По результатам продувки основной системы выпуска определены коэффициенты расхода μ и газодинамических потерь ξ по углу поворота коленчатого вала и хода клапана (рисунок 7).

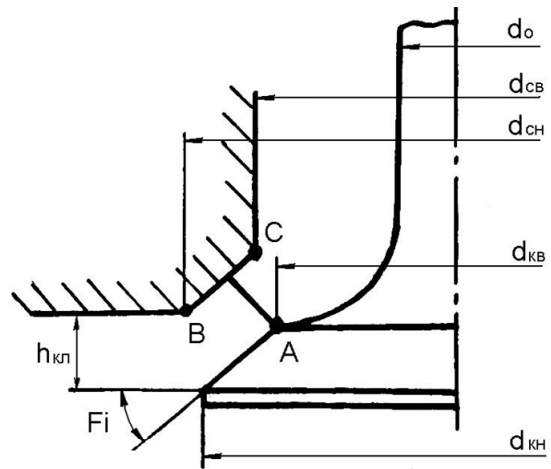


Рисунок 5 – Схема для определения проходного сечения щели клапана $F_{кл}$

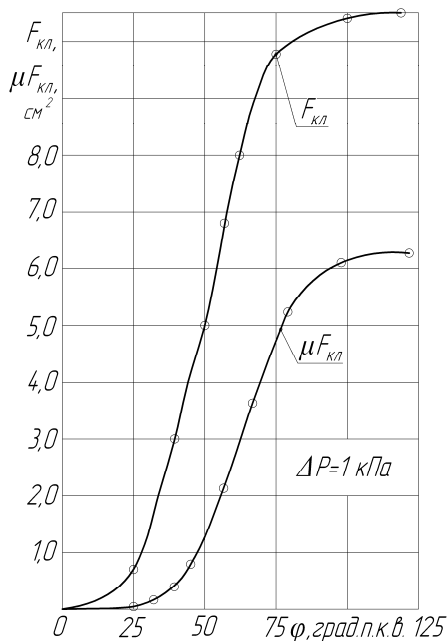


Рисунок 6 – Изменение теоретического $F_{кл}$ и эффективного проходных $\mu F_{кл}$ сечений щели выпускного клапана основной системы выпуска ОГ дизеля 4Ч10,5/12

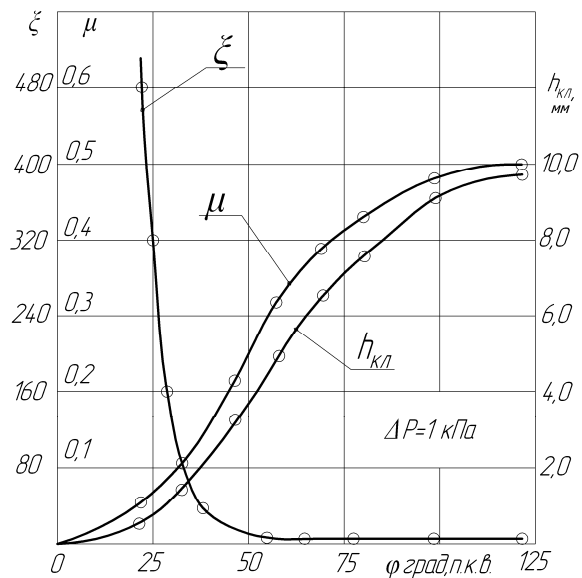


Рисунок 7 – Изменение коэффициентов расхода μ и газодинамических потерь ξ щели выпускного клапана основной системы выпуска ОГ дизеля 4Ч10,5/12

Для дополнительной системы выпуска проведен расчет, и определены теоретические проходные сечения F_g по ходу поршня h_n , а также получены с учетом изменения коэффициента расхода μ эффективные проходные сечения μF_g дополнительного выпускного канала ОГ (рисунок 8). Кроме этого, по результатам продувки дополнительной системы выпуска ОГ определены коэффициенты расхода μ и газодинамических потерь ξ по ходу поршня h_n в диапазоне ± 40 °ПКВ в районе НМТ (рисунок 9).

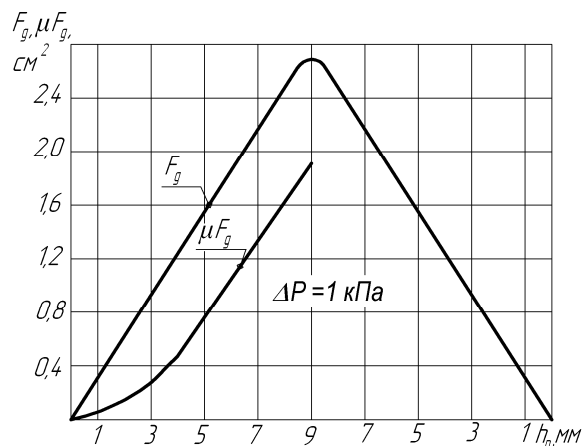


Рисунок 8 – Изменение проходного F_g и эффективного проходного μF_g сечений дополнительной системы выпуска по ходу поршня h_n

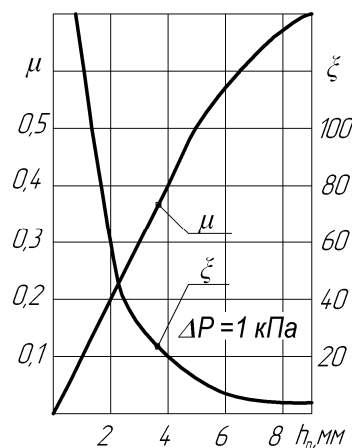


Рисунок 9 – Изменение коэффициента расхода μ и газодинамических потерь ξ дополнительной системы выпуска по ходу поршня h_n

Вывод. Статической продувкой основных элементов систем выпуска ОГ ДОГ и обработкой данных по уточненной методике получено изменение эффективных проходных сечений $\mu F_{кл}$ и μF_d , коэффициентов расхода $\mu_{кл}$ и μ_d , а также коэффициентов газодинамических потерь $\xi_{кл}$ и ξ_d в зависимости от хода клапана и хода поршня, которые могут быть использованы при математическом моделировании процессов газообмена в ДОГ [7].

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы (ФЦП) «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Патент №2024773, МПК F 02B 37/00 Способ работы четырёхтактного двигателя внутреннего сгорания / Л.М. Жмудяк. -№4796343; заяв. 28.02.90; опубл. 15.12.94, Бюл. №23.
- 2 Балашов, А.А. Совершенствование расходных характеристик газоздушных трактов поршневых ДВС: дис. ... д-ра техн. наук / А.А. Балашов. -Барнаул, 2008. -395 с.
- 3 Улучшение экономических показателей дизелей ВТЗ путем совершенствования выпускных каналов / Б.Н. Винокуров [и др.] // Повышение эксплуатационных показателей двигателей и тракторов. -Пермь, 1987. -С. 19-26.
- 4 Грудский, Ю.Г. Методы оценки совершенства выпускных каналов дизелей / Ю.Г. Грудский, В.И. Шайкин // Тр. НАМИ. -М., 1979. -Вып.176. -С. 130-140.
- 5 Балашов, А.А. Уточненная методика обработки результатов статической продувки воздухом элементов системы газообмена двигателей с двойным выпуском ОГ / А.А. Балашов, А.Е. Свистула, С.В. Яковлев // Ползунов. вестн. -2010. -№1. -С.203-206.
- 6 Глаголев, Н.М. Рабочие процессы двигателей внутреннего сгорания / Н.М. Глаголев. -М.: Машгиз, 1965. -480 с.
- 7 Балашов, А.А. О возможности использования результатов статической продувки элементов системы газообмена воздухом при математическом моделировании двойного выпуска отработавших газов двигателя с окном в гильзе / А.А. Балашов, А.Е. Свистула, С.В. Яковлев // Ползунов. вестн. -2010. -№1. -С.199-202.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: двигатель, система выпуска, расходная характеристика, газообмен

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Балашов Андрей Алексеевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

Свистула Андрей Евгеньевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «АлтГТУ им.

И.И. Ползунова»

Пыжанкин Геннадий Викторович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «АлтГТУ им.

И.И. Ползунова»

Яров Валерий Сергеевич, аспирант ГОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ГОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

ПРОБЛЕМА ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

О.В. Щербакова, М.К. Романченко

PROBLEM OF DYNAMIC STABILITY OF VIBRATION ISOLATION SYSTEMS

«Novosibirsk state academy of water transport»

O.V. Scherbakova, M.K. Romanchenko

The article investigates the dynamic stability of isolation systems, by the form roots of the characteristic equation (the root method). Considered the simplified and specified models vibroprotection system.

Keywords: dynamic stability, active vibroprotection systems, areas of stability

Исследуется динамическая устойчивость систем виброизоляции, по виду корней характеристического уравнения (корневым методом). Рассматриваются упрощенная и уточненная модели виброзащитной системы.

Вибрационная защита в тех областях, где допустимые уровни вибрации нельзя достигнуть с помощью обычной виброизоляции, а также при действии вибрации с широким спектром, применяют активные управляемые системы виброизоляции.

В настоящее время активные виброзащитные системы (АВС) определяются как устройства, предназначенные для компенсации дополнительным источником энергии внешних вынуждающих сил, вызывающих вибрацию защищаемого объекта [1, 2].

В зависимости от вида исполнительного устройства различают гидравлические, пневматические, электромеханические, электромагнитные системы активной виброизоляции [3].

Работоспособность любой системы автоматического регулирования обусловлена одной из основных ее динамических характеристик – устойчивостью.

Понятие устойчивости системы регулирования связано со способностью возвращаться в состояние равновесия после исчезновения внешних сил, которые вывели ее из этого состояния. При этом неустойчивая система непрерывно удаляется от состояния равновесия или совершает вблизи точки, характеризующей равновесие, недопустимо большие колебания. Неустойчивой может стать всякая система с обратной связью, в результате чего она не способна выполнять задачи регулирования.

Исследовать устойчивость систем можно различными методами [2, 3]. Об устойчивости можно судить по виду корней характеристического уравнения (корневой метод) [1, 2]. Однако в системах, описываемых дифференциальными уравнениями 3-го порядка и выше, нахождение корней представляет определенную трудность. В этих случаях можно воспользоваться критериями Рауса-Гурвица и определять степень устойчивости по коэффициентам характеристического уравнения [2, 3]. Поскольку уже для уравнений пятой степени условия устойчивости получаются достаточно громоздкими, а для уравнений более высоких порядков в лучшем случае можно получить ответ только на вопрос, устойчива или неустойчива система, применение критериев Рауса-Гурвица ограничено.

Чтобы избежать трудностей математического характера, допускается вводить упрощающие предположения. Можно обойтись и без упрощений модели за счет использования численных методов допускающих моделирование с реальными параметрами, но полученный результат будет труднообозримым и пригодным только для конкретного случая виброи-

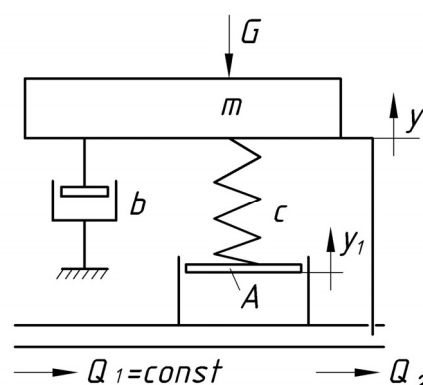


Рисунок 1 – Одноосная виброизолирующая система

золяции [1].

Рассмотрим упрощённую одноосную систему виброизоляции (рисунок 1), введем упрощающие предположения и определим её динамическую устойчивость [1].

Допустим, что жесткость газа в полости опоры постоянна и равна c [1]. Демпфирование в полости опоры ввиду малости не учитываем, но демпфирование неопорных связей дизеля, как правило, велико и учтено коэффициентом b . Сила веса G направлена так, чтобы газ в опоре был сжат.

Составим уравнения динамики массы и кинематики жидкости в системе виброизоляции

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + b \frac{dy}{dt} + cy = cy_1 - G ;$$

$$\frac{d y_1}{dt} = \frac{Q_1 - Q_2}{A} . \quad (1)$$

Предположим, что расход жидкости через регулирующий орган пропорционален малому отклонению y виброизолированной массы от равновесного положения принятого за ноль

$$Q_2 = Q_{20} (1 + ky) , \quad (2)$$

где Q_{20} — установившееся значение расхода Q_1 ;

k — коэффициент, зависящий от степени полинома в характеристике сопротивления регулирующего органа.

Коэффициент k появляется в результате линеаризации зависимости сопротивления от входной величины.

Запишем систему уравнений (1) относительно перемещения массы, при этом замена y_1 на y , означает включение обратной связи в системе виброизоляции

$$m \frac{d^3 y}{dt^3} + b \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + c \frac{3Q_{20}}{2Ah_0} y = 0 . \quad (3)$$

В этом уравнении ускорение обозначено как третья производная от смещения, скорость как вторая и т.д. Если решить (3) относительно скорости и при нулевом расходе, то решение будет совпадать с решением уравнения динамики второго порядка. С учетом управляющего воздействия уравнение нельзя рассматривать как уравнение движения массы m , но для исследования устойчивости это не имеет решающего значения, поскольку потеря устойчивости приводит к росту всех членов уравнения [1].

Свободные члены уравнения не учитываются, поскольку сумма расходов жидкости, входящей в опору и выходящей через регулирующий элемент при невозмущенном движении, равна нулю.

Исследуем устойчивость движения в первом приближении, то есть по корням характеристического уравнения

$$mr^3 + br^2 + cr + \frac{3Q_{20}}{2Ah_0} c = 0 . \quad (4)$$

Решение этого уравнения дает один вещественный и два комплексных сопряженных корня [1]. Согласно условию устойчивости по Ляпунову [4, 5]:

1 Линейная система устойчива, причем устойчива асимптотически, если все корни её характеристического уравнения имеют отрицательные вещественные части;

2 Линейная система неустойчива, если среди корней её характеристического уравнения есть хотя бы один корень с положительной вещественной частью;

3 Линейная система нейтрально устойчива, если среди её корней один нулевой, а у остальных отрицательные вещественные части.

Полная картина устойчивости получается при построении областей динамической устойчивости виброизолирующей системы. Такие области могут быть построены в плоскости двух параметров в виде семейства кривых для различных значений третьего параметра (рисунок 2) [5].

Исследования показывают [1], наибольшее влияние на значение корней характеристического уравнения оказывают три параметра: средний расход Q_{20} ; коэффициент демпфирования b и зазор управляемого дросселя h_0 .

Построить область устойчивости можно следующим образом. Вещественный корень или вещественную часть комплексного корня следует решить относительно выбранного параметра. Полученное решение, если оно существует, будет давать нулевые значения корня

характеристического уравнения при любых численных значениях параметров системы.

Выбирая один из параметров в качестве аргумента можно построить график зависимости любого другого параметра. Линия на графике (рисунок 2) покажет границу динамической устойчивости системы управления положением дизеля. На устойчивой части графика сочетание параметров такого, что любое возмущение будет затухать во времени и приближаться к равновесному положению, на неустойчивой части возмущение будет развиваться до некоторого уровня. Оба режима могут быть периодическими или аperiodическими. Установившиеся автоколебания будут зависеть от ранее не учтенных нелинейных свойств системы.

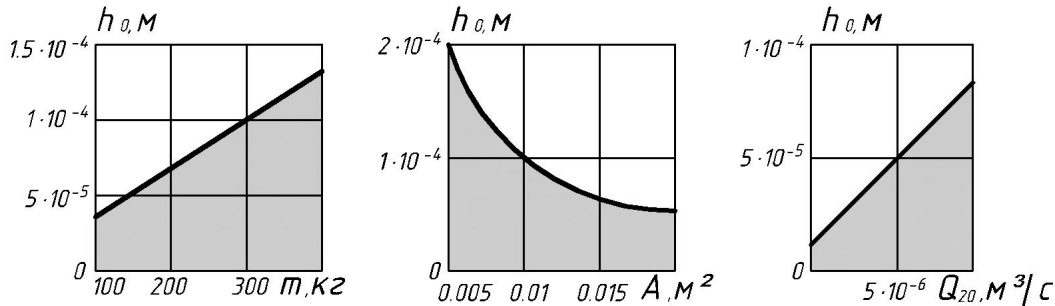


Рисунок 2 – Области устойчивости (светлые) для среднего зазора дросселя h_0

Для системы виброизоляции существование неустойчивых периодических режимов нежелательно, так как их частота может попасть в диапазон частот вибрации и снизить эффективность защиты. Неустойчивый непериодический режим смещает рабочую точку из зоны оптимальной эффективности, и система становится малочувствительной к сигналу обратной связи. К сожалению, такой путь возможен только для простых выражений корня.

Если общее решение вещественной части корня не получается, область устойчивости может быть построена по точкам для трех параметров (рисунок 3).

График состоит из овальной области и лучей, проведенных из начала координат до границы области. Каждый луч соответствует определенному значению среднего зазора дросселя, а граница показывает существование корня среди вещественных чисел. Для того чтобы определить «устойчивое» сочетание параметров необходимо нанести точку на график, если она попадет в овальную область, то устойчивый режим будет возможен для всех сочетаний параметров расположенных левее луча проведенного из начала координат. Промежуточные значения можно найти линейной интерполяцией [1].

Рассмотрим уточненную модель системы (см. рисунок 1), в которой учитывается влияние давления газа на расход жидкости через управляемый дроссель. При анализе устойчивости предположим, что расход пропорционален не только отклонению регулируемой величины, но и давлению полости. Это позволяет учитывать жесткость газа, которую ранее считали не существенной величиной

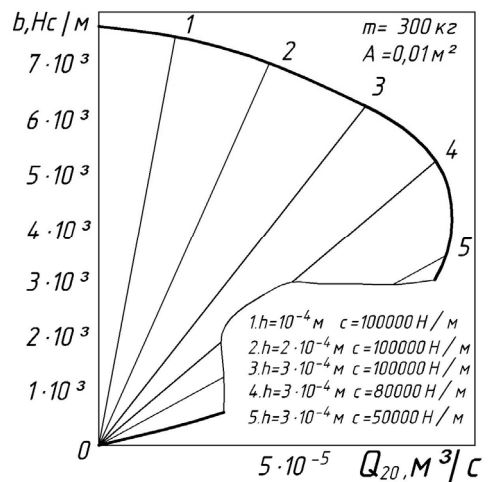


Рисунок 3 – Пример построения области устойчивости в плоскости параметров расход-демпфирование при различных зазорах дросселя

$$Q_2 = Q_{20} (1 + ky) \frac{P}{P_0} . \quad (5)$$

Дифференцируя уравнение динамики массы, получим линеаризованное уравнение движения системы автоматического регулирования для регулируемой величины y при внешних воздействиях равных нулю

$$m \frac{d^3 y}{dt^3} + b \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + \left(\frac{c Q_{20} k}{A} - \frac{c^2 Q_{20}}{P_0 A^2} \right) y = 0 . \quad (6)$$

Характеристическое уравнение принимает вид

$$mr^3 + br^2 + cr + \frac{3Q_{20}c}{2Ah_0} - \frac{Q_{20}c^2}{P_0A^2} = 0. \quad (7)$$

Решение уравнения даёт три корня. Вид корней совпадает с полученными ранее корнями для системы (1) [1]. Выполняя построения, можно получить область динамической устойчивости системы с учётом введённых уточнений. Эта область полностью совпадает с полученной ранее областью для модели, в которой давление газа не зависело от смещения жидкого объема, это связано с тем, что исследовалась не статическая, а динамическая устойчивость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Барановский, А.М. Виброизоляция дизелей речных судов / А.М. Барановский. - Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2000. -176 с.
- 2 Пассивная и активная виброзащита судовых механизмов / А.Е. Божко [и др.]. -Л.: Судостроение, 1987. -176 с.
- 3 Вибрации в технике: справочник. В 6 т. Т.6 / К.В. Фролов [и др.]. -М.: Машиностроение, 1995. -456 с.
- 4 Зубов, В.И. Методы Ляпунова и их применение / В.И. Зубов. -Л.: Изд-во ЛГУ, 1957. - 241 с.
- 5 Зубов, В.И. Математические методы исследования систем автоматического регулирования / В.И. Зубов. -Л.: Машиностроение, 1974. -335 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: динамическая устойчивость, активные виброзащитные системы, области устойчивости

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Щербак Ольга Валерьевна, старший преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Романченко Михаил Константинович, канд. техн. наук, старший преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ЧЕТЫРЕХТАКТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ИНТЕНСИВНОЙ ПРОДУВКОЙ

ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Л.М. Жмудяк, А.Л. Жмудяк

FOUR-STROKE ENGINE WITH INTENSIVE SCAVENGING
«Altay state technical university named I.I. Polzunov»
L.M. Zhmudjak, A.L. Zhmudjak

The design of the motor with a port in cylinder sleeve being proposed in patent improves the working cycle of four-stroke engines, preferably turbocharged engines or engines with a turbocharged driven compressor.

Keywords: reciprocating internal combustion engine, the window in the sleeve, double issue, the patent

Рассмотрены работа и преимущества предложенного и запатентованного поршневого двигателя, основное конструктивное отличие которого состоит в том, что в четырехтактном двигателе имеется постоянно открытое окно в гильзе.

Дальнейшее повышение мощности ДВС ограничивается тепловой напряженностью деталей, прежде всего, поршня, выпускного клапана, головки цилиндров и турбины турбокомпрессора (ТК). Все двигателестроительные предприятия непрерывно ведут большие и дорогостоящие научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по снижению теплонапряженности, так как снижение теплонапряженности открывает возможность повышения мощности двигателя без увеличения его габаритов.

С теплонапряженностью и с высокой температурой деталей двигателя связаны и другие проблемы организации рабочего цикла двигателя. Например, у бензиновых моторов высокая температура цилиндро-поршневой группы способствует детонации, что сдерживает (полезное для повышения КПД) увеличение степени сжатия и повышает требования к октановому числу бензина.

Детонация, напрямую зависящая от температуры соприкасающихся с рабочим телом деталей, ограничивает повышение наддува бензиновых ДВС, то есть препятствует их форсированию по мощности.

Одним из основных путей повышения мощности является форсирование двигателя по частоте вращения (по оборотам) коленчатого вала. Однако, с ростом частоты вращения возрастают сопротивления движению газов через органы газообмена (клапаны и окна), что ставит предел форсированию двигателей по оборотам.

При постоянных частотах вращения снижение сопротивлений снизило бы расход топлива, но огромные и квалифицированные работы по совершенствованию (профилированию) газоздушных трактов ДВС (и даже полирование поверхностей) увеличивают пропускную способность на проценты.

Возможности решения указанных проблем в рамках классической конструкции поршневого двигателя практически исчерпаны. В двигателях с наддувом при давлении во впускном трубопроводе, превышающем давление в выпускном трубопроводе, вышеперечисленные проблемы можно решить, осуществляя выпуск в четырехтактном двигателе не только через клапаны, но и через постоянно открытые окна в гильзе. На это техническое решение получен патент [1].

Сложившееся рабочее название предложенного двигателя: «двигатель с открытым окном в гильзе (ДОГ)». Эта аббревиатура используется ниже при описании сути изобретения.

Определение двигателя с окном в гильзе – ДОГ для двигателей на базе классической конструкции четырехтактных ДВС с клапанным газораспределением можно конкретизировать следующим образом. ДОГ – четырехтактный двигатель, в котором для газообмена используются не только клапаны, но и окна в гильзе, в том числе постоянно открытые окна (без органов закрытия на окне в гильзе) и газообмен через окна осуществляется, хотя бы на одном из режимов, на тактах расширения-выпуска и на тактах впуска-сжатия.

Эти окна в конце такта расширения и начале такта выпуска резко облегчают выпуск продуктов сгорания из цилиндра. Окна в гильзе цилиндра открываются поршнем вблизи НМТ. При четырёхтактном цикле – вблизи НМТ выпуска и вблизи НМТ впуска. Вблизи НМТ выпуска польза открытого окна в гильзе отмечена выше, но как будет протекать газообмен, когда поршень откроет окно вблизи НМТ впуска?

У ДВС без наддува (и у некоторых старых ДВС с низким наддувом, например, при низком наддуве и низком КПД турбокомпрессора, а также в ряде ДВС с силовой турбиной и др.) давление в цилиндре вблизи НМТ впуска ниже давления в выпускном трубопроводе (p_t). При этом соотношении давлений вблизи НМТ впуска через открытое окно продукты сгорания из выпускного трубопровода потекут обратно в цилиндр. Последнее уменьшит количество входящего в цилиндр воздуха и соответственно мощность двигателя.

Именно поэтому для старых двигателей постоянно открытое окно в гильзе не предлагалось. У новых двигателей с наддувом на режимах полных нагрузок давление в цилиндре в конце впуска выше, чем в выпускном трубопроводе, поэтому существенного возврата продуктов сгорания в цилиндр не будет. В этих двигателях возможно постоянно открытое окно в гильзе.

Предложенный двигатель [1] реализует новый способ газообмена, состоящий, в основном, в том, что с выпуском через окна и клапаны сочетаются: на полных нагрузках – продувка в конце впуска – начале сжатия, на малых нагрузках и холостом ходу – дозарядка цилиндра продуктами сгорания в конце впуска – начале сжатия.

Новизна конструкции в её простоте и отсутствии подвижных деталей. Без подвижных деталей обеспечивается: лёгкий выпуск (столь же лёгкий как в двигателях с гильзовым газораспределением), большая продувка, снижающая теплонапряжённость, улучшение работы на малых нагрузках и холостом ходу.

Все элементы конструкции использовались в серийных двигателях, поэтому принципиальных препятствий изготовлению предложенного ДВС не обнаружено.

На рисунке 1 изображены схемы: традиционного четырехтактного ДВС с турбонаддувом и ДОГ – в момент окончания такта расширения (НМТ) и начала такта выпуска.

Выпуск в ДОГ осуществляется и через клапан 1 и через окно 2. Выпускные газы через окна 2 и выпускные клапаны 1 по трубопроводам 5 и 6 поступают в турбину ТК.

Раздвоение потока снижает теплонапряжённость головки цилиндра и выпускного клапана 1, открывается возможность форсирования по мощности.

Использование окна увеличивает пропускную способность органов выпуска, примерно, вдвое и позволяет:

– уменьшить затраты энергии на выталкивание выпускных газов, что повышает КПД;

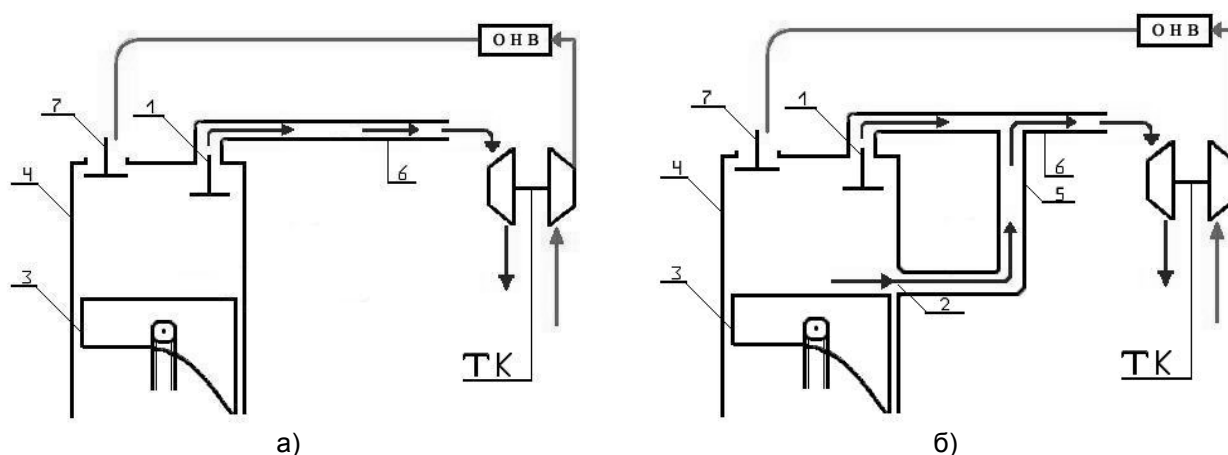


Рисунок 1 – Принципиальная схемы: а)-традиционного четырехтактного ДВС с турбонаддувом; б)-ДОГ; ОНВ-охладитель наддувочного воздуха; ТК-турбокомпрессор; стрелки у выпускного клапана 1 и окна 2 - движение выпускных газов

– осуществлять выпуск газов при высоких частотах вращения коленчатого вала, то есть повысить частоту вращения и пропорционально ей – мощность двигателя.

Схема впуска и продувки в ДОГ (НМТ такта впуска) изображена на рисунке 2.

При впуске воздух, сжатый в компрессоре турбокомпрессора, поступает в цилиндр 4 через впускной клапан 7. В конце такта впуска (рисунок 2) поршень вновь открывает окно 2 в гильзе, и через окно цилиндр соединяется с дополнительным трубопроводом 5, а через него – с выпускным трубопроводом 6. На значительных нагрузках в данном ДВС давление в цилиндре 4 и в конце такта впуска выше давления в выпускном трубопроводе 6. Поэтому через открытое окно 2 воздух из цилиндра (через трубопровод 5) вытекает в выпускной трубопровод 6. Направление движения воздуха на рисунке 2 показано стрелками. Таким образом, осуществляется продувка и снижается тепловая напряженность цилиндро-поршневой группы, турбины и других деталей, открывается возможность форсирования по мощности.

На малых нагрузках, на режимах пуска и холостого хода давление в цилиндре в конце впуска становится ниже, чем p_t . Поэтому вблизи НМТ впуска происходит рециркуляция выпускных газов через окно в гильзе.

Выполненные обычные и оптимизационные расчеты показали, что по сравнению с традиционными конструкциями ДОГ имеет следующие преимущества.

На режиме пуска повышается температура в цилиндре в конце сжатия (повышение на 110°–280 °С), что облегчает пуск.

На полных нагрузках: снижается теплонапряженность вследствие уменьшения потока выпускных газов через клапан и продувки, что позволяет повысить мощность на 10-40% и снижает опасность детонации; у высокооборотных двигателей облегчение выпуска из-за использования дополнительного окна в гильзе повышает КПД на 11% и позволяет форсировать двигатель по оборотам с пропорциональным повышением мощности.

Научные исследования, результаты которых изложены в настоящей статье, выполнены в рамках реализации федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Пат. 2024773, МПК F 02B 37/00. Способ работы четырёхтактного двигателя внутреннего сгорания / Жмудяк Л.М. -№4796343; заявл. 28.02.90; опубл. 15.12.94, Бюл. №23.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: поршневой двигатель внутреннего сгорания, окно в гильзе, двойной выпуск, патент

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Жмудяк Леонид Моисеевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

Жмудяк Александра Леонидовна, канд. техн. наук, ГОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ГОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

РАСЧЕТ СВОБОДНЫХ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛОПРОВОДА В СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ С УЧЕТОМ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Л.М. Коврижных

CALCULATION FREE TORSIONAL VIBRATIONS OF SHAFTWIRE IN THE SHIP'S ENERGY PLANTS, TAKING INTO INSIDE FRICTION

«Novosibirsk state academy of water transport»

L.M. Kovrijnykh

A new approach for calculating the moving masses shaftwire SEP twisting by allowing operators to appropriate systems of differential equations

Keywords: torsional vibrations shaftwire, allow the operator, determinant Vronsky

Предложен новый подход для расчета крутильных перемещений масс валопровода СЭУ с помощью разрешающего оператора для соответствующей системы дифференциальных уравнений.

При описании крутильных колебаний движущихся масс валопровода СЭУ используют модель приведенной крутильной системы сосредоточенных масс и предполагают, что система консервативна. Движение такой системы, состоящей из n масс, описывается системой линейных дифференциальных уравнений для угловых смещений

$$\begin{cases} x = (x_1, x_2, \dots, x_n); \\ J\ddot{x} + Cx = M(t), \end{cases} \quad (1)$$

где J – матрица моментов инерций масс системы;

C – матрица жесткостей;

$M(t)$ – вектор-столбец возмущающих моментов сил.

На самом деле, это лишь грубое приближение реальных крутильных колебаний системы масс валопровода, потому что данная механическая система, строго говоря, не является консервативной, так как в различных ее конструктивных деталях: редукторах, коленчатых валах, муфтах присутствуют силы трения, поглощающие энергию системы. Кроме того, присутствуют специальные устройства – демпферы, предназначенные для гашения крутильных колебаний и устранения резонансных явлений, у которых коэффициенты трения весьма существенны.

Различные по своей физической природе силы трения в большинстве случаев, без большой погрешности можно заменить здесь энергетически эквивалентными силами вязкого трения. Силы вязкого трения могут быть внешними, и внутренними. Внешние силы трения вызваны внешним воздействием на массу и пропорциональны абсолютной угловой скорости соответствующей массы

$$R'_i = -\alpha_i \dot{x}_i,$$

где

$$i = 1, 2, \dots, n.$$

Внутренние вызваны изменением внутренней структуры материала массы при кручении и пропорциональны угловым скоростям относительного перемещения масс

$$R''_i = -\sum_{j=1}^n \beta_{ij} (\dot{x}_i - \dot{x}_j).$$

В общем случае при наличии как внешнего, так и внутреннего трения силу вязкого трения, соответствующую координате x_i можно представить в виде

$$R_i = -\sum_{j=1}^n d_{ij} \dot{x}_j.$$

Матрицу $D = \|d_{ij}\|_{n \times n}$ называют матрицу диссипативных коэффициентов. Тогда крутиль-

ные колебания системы n масс валопровода можно описать следующей системой линейных дифференциальных уравнений для угловых смещений x , записанной в матричном виде

$$J\ddot{x} + D\dot{x} + Cx = M(t). \quad (2)$$

Эта система дифференциальных уравнений отличается от системы (1) только наличием произведения матрицы диссипативных коэффициентов D на вектор скоростей $\dot{x}$.

В общем случае вязкого трения введение главных координат не приводит к независимым дифференциальным уравнениям относительно каждой из них. Лишь в случае так называемого пропорционального демпфирования главные координаты оказываются несвязанными между собой и при наличии трения. При пропорциональном демпфировании в системе крутильных колебаний масс валопровода коэффициенты внешнего трения α_i пропорциональны моментам инерции соответствующих масс J_i а коэффициенты внутреннего трения пропорциональны соответствующим жесткостям на кручение. В этом случае матрица диссипативных коэффициентов может быть представлена в виде суммы двух матриц, одна из которых пропорциональна матрице моментов инерции J , а другая – матрице жесткостей C

$$D = 2\mu J + 2\lambda C, \quad (3)$$

где μ, λ – коэффициенты пропорциональности.

Уравнения движения (2) при переходе к главным координатам

$$x(t) = \sum_{k=1}^n q_k(t) u_k,$$

преобразуются к виду

$$\ddot{q}_k + 2n_k \dot{q}_k + p_k^2 q_k = \frac{Q_k}{\tilde{J}_k}, \quad (4),$$

$$n_k = \omega \mu + \lambda p_k^2, \quad (5)$$

где p_k – собственные частоты;

u_k – соответствующие вектора относительных амплитуд – собственные формы колебаний;

Q_k – обобщенные моменты сил,

$$Q_k = \sum_{i=1}^n M_i(t) u_{ik};$$

$\tilde{J}_k$ – обобщенные моменты инерции,

$$\tilde{J}_k = u_k^T \cdot J \cdot u_k.$$

Итак, при пропорциональном демпфировании каждая из главных координат определяется независимым уравнением (4). Это уравнение имеет вид уравнения колебаний системы с одной степенью свободы при вязком трении. Из формулы (5) для коэффициента затухания n_k следует, что при внешнем вязком пропорциональном трении

$$D = 2\mu J,$$

этот коэффициент для всех главных координат одинаков. А при внутреннем вязком пропорциональном трении

$$D = 2\lambda C,$$

коэффициент затухания пропорционален квадрату соответствующей собственной частоты.

Изложенный простой способ учета трения сводит задачу о колебании системы с n степенями свободы к n задачам о колебании систем с одной степенью свободы при наличии трения. Однако этот метод не применим, если в систему специально введены элементы трения, например демпферы колебаний. Большие силы трения, развивающиеся в таких демпферах при режимах, близких к резонансным, могут заметно исказить формы колебаний системы. В этих случаях необходимо предположить разумную гипотезу о распределении сил трения (о внутреннем трении в материале, о конструкционном гистерезисе и т.п.) на основе экспериментов, когда удастся оценить лишь интегральные эффекты сил трения такие, например, как логарифмический декремент затухания или коэффициент поглощения энергии.

Для отыскания точного решения системы (2) при вязком внешнем и внутреннем трении можно еще использовать метод комплексных амплитуд [1]. Мы же рассмотрим сейчас метод нахождения свободных крутильных колебаний валопровода СЭУ в численном виде при заданных начальных условиях. Свободные крутильные колебания валопровода СЭУ можно

описать системой дифференциальных уравнений (2), в которой отсутствуют возмущающие моменты $M(t)$, то есть

$$J\ddot{x} + D\dot{x} + Cx = 0. \quad (6)$$

Данную однородную систему n уравнений 2-ого порядка с постоянными коэффициентами сведем к системе $2n$ уравнений 1-ого порядка [3]. Для этого введем новую неизвестную вектор-функцию

$$\begin{aligned} u(t) &= [u_1(t), u_2(t)]; \\ u_1(t) &= x(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]; \\ u_2(t) &= \dot{x}(t) = [\dot{x}_1(t), \dot{x}_2(t), \dots, \dot{x}_n(t)]. \end{aligned}$$

Вектор-функция состоит из $2n$ компонент. Первые n компонент представляют собой нашу неизвестную вектор-функцию угловых отклонений $x(t)$, а остальные n компонент суть угловые скорости крутящихся масс. Умножим уравнение (6) на матрицу, обратную J

$$\ddot{x} + \frac{D\dot{x}}{J} + \frac{Cx}{J} = 0. \quad (7)$$

С учетом введенной вектор-функции $u(t)$ эту систему можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} &\begin{cases} u_1'(t) = u_2(t); \\ u_2'(t) = -J^{-1}D u_2(t) - J^{-1}C u_1(t), \end{cases} \\ \text{или} &\begin{cases} u_1'(t) = O u_1(t) + E u_2(t); \\ u_2'(t) = -J^{-1}C u_1(t) - J^{-1}D u_2(t). \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

здесь матрицы O и E суть нулевая и единичная матрицы n -ого порядка. Теперь нашу систему можно записать еще в более простом виде

$$u'(t) = A \cdot u(t), \quad (9)$$

где A – матрица $2n$ порядка,

$$A = \begin{pmatrix} O & E \\ -J^{-1}C & -J^{-1}D \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Системы дифференциальных уравнений вида (9) хорошо изучены в общей теории обыкновенных дифференциальных уравнений [3] даже для функций $u(t)$ со значениями в банаховом пространстве. В нашем случае их можно рассматривать как обыкновенное дифференциальное уравнение 1-ого порядка в пространстве R^{2n} , которое, как известно, является банаховым, то есть полным линейным нормированным пространством. Согласно общей теории уравнение (9) имеет и единственное решение для любого линейного ограниченного оператора A , (даже возможно зависящего от времени, но удовлетворяющему еще некоторому условию), удовлетворяющее начальному условию $u(t) = u_0$, где u_0 -вектор начальных данных, то есть начальных значений функции $u(t)$ в момент времени $t = t_0$. Кроме того, существует, так называемый, разрешающий оператор $\Omega_{t_0}^t$, который ставит в соответствие каждому начальному значению u_0 нашей функции $u(t)$ в момент времени t_0 соответствующее значение искомой функции в момент времени t . В нашем случае уравнения (9) этот оператор можно даже выписать явно

$$u(t) = \Omega_{t_0}^t(u_0) = \exp[(t - t_0)A]u_0, \quad (11)$$

где $\exp[(t - t_0)A]$ – функция-экспонента от матрицы $(t - t_0)A$, которая дает тоже матрицу и вычисляется по формуле

$$\exp[(t - t_0)A] = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(t - t_0)^n}{n!} A^n = E + (t - t_0)A + \frac{(t - t_0)^2}{2} A^2 + \dots + \frac{(t - t_0)^n}{n!} A^n + \dots, \quad (12)$$

таким образом, функция $u(t)$ вычисляется в каждый момент времени t формуле

$$u(t) = \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(t - t_0)^n}{n!} A^n \right] u_0 = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[E + (t - t_0)A + \frac{(t - t_0)^2}{2} A^2 + \dots + \frac{(t - t_0)^n}{n!} A^n + \dots \right] u_0, \quad (13)$$

поскольку доказано, что этот ряд сходится (по норме пространства R^{2n}), то можно брать лишь несколько членов этого ряда, чтобы с определенной степенью точности вычислить значение функции $u(t)$. В нашей задаче начальными условиями будут начальные значения угловых отклонений от положения равновесия и начальные угловые скорости масс валопровода СЭУ. Итак, с помощью разрешающего оператора $\Omega_{t_0}^t$ мы можем по формулам (12),(13) в численном виде найти решение $u(t)$ системы уравнений (9), а значит и (6). Расчет можно производить как в программе Mathcad, так и в Excel.

Но это численное решение задачи не дает нам качественной картины поведения искомой функции $u(t)$. Конечно, для оценки качественного поведения решения можно просто вычислить решение $u(t)$ при нескольких значениях времени t , с неким небольшим шагом по времени, в промежутке от t_0 до некоторого значения T и затем построить график искомой функции. Это довольно трудоемкая задача. Но, тем не менее, с помощью достаточно мощной вычислительной системы она вполне решаема.

Далее заметим еще, что уравнение (9), согласно общей теории обыкновенных дифференциальных уравнений, для искомых функций со значениями в конечномерном пространстве, размерности n будет иметь n линейно независимых решений – базис пространства решений или фундаментальная система решений. В нашем случае таких решений должно быть $2n$. Все остальные решения линейно выражаются через фундаментальную систему решений (ФСР). Разрешающий оператор системы (9) будет представлять собой так называемую матрицу Вронского

$$W(t) = \begin{pmatrix} f_{11}(t) & f_{12}(t) & \dots & f_{1n}(t) \\ f_{21}(t) & f_{22}(t) & \dots & f_{2n}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{n1}(t) & f_{n2}(t) & \dots & f_{nn}(t) \end{pmatrix}, \quad (14)$$

здесь $f_{1k}(t), f_{2k}(t), \dots, f_{nk}(t)$ – координаты вектора $f_k(t)$, обращающегося при $t = t_0$ в вектор f_k из базиса пространства $R^n: f_1, f_2, \dots, f_n$. В нашем случае, роль n будет играть $2n$. Если же в качестве базисных векторов брать базис, в котором матрица A имеет Жорданову форму, то матрица Вронского будет иметь более конкретный вид. Для этого необходимо определить собственные значения матрицы A , которые могут быть как действительные, так комплексные, причем и те и другие могут быть кратными. Затем, составив соответствующую Жорданову форму нашей матрицы A [2, 3], мы можем составить матрицу Вронского. Матрица Вронского и даст нам возможность оценить качественную картину решения системы (9). Решение $u(t)$ в этом случае будет вычисляться по формуле

$$u(t) = W(t) \cdot u_0.$$

Заметим далее, что для системы масс валопровода, матрица D диссипативных коэффициентов будет иметь трех диагональный вид, впрочем, как и матрица жесткостей C .

$$D = \begin{pmatrix} (\alpha_1 + \beta_{12}) & -\beta_{12} & 0 & \dots & 0 \\ -\beta_{21} & (\alpha_2 + \beta_{12} + \beta_{23}) & -\beta_{23} & \dots & 0 \\ 0 & -\beta_{32} & (\alpha_3 + \beta_{32} + \beta_{34}) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & -\beta_{n(n-1)} & (\alpha_n + \beta_{n(n-1)}) \end{pmatrix},$$

где α_i – коэффициенты внешнего вязкого трения для i -ой массы;

β_{ij} – коэффициенты внутреннего вязкого трения между i -ой и j -ой массами.

Следовательно, что $\beta_{ij} = \beta_{ji}$, то есть матрица D – симметричная.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бидерман, В.Л. Теория механических колебаний: учеб. для вузов / В.Л. Бидерман. -М.: Высш. шк., 1980. -408 с.
- 2 Шилов, Г.Е. Математический анализ. Конечномерные линейные пространства / Г.Е. Шилов. -М.: Наука, 1969. -432 с.

З Шилов, Г.Е. Математический анализ. Функции одного переменного. Ч.3 / Г.Е. Шилов. - М.: Наука, 1970. -352 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *крутильные колебания судового валопровода, разрешающий оператор, определитель Вронского*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Коврижных Леонид Михайлович, старший преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет
им. адм. Г.И. Невельского»

В.В. Тарасов

THE CALCULATION OF EFFICIENCY REGENERATING ENGINE OIL USE IN SHIP'S DIESELS

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

V.V. Tarasov

The results of engine tests in a diesel engine 2Ч10,5/13 regenerate and commodity lubricant oils are presented. The processes of their ageing are compared and are analyzed the influence of this oils on wearing and snuff-formation of details of internal combustion engines.

Keywords: oil used, regenerating oil, ageing of lubricating oil, the engine tests

Приведены результаты моторных испытаний в дизеле 2Ч10,5/13 товарного и регенерированного смазочных масел. Сравниваются процессы их старения, и анализируется влияние этих нефтепродуктов на изнашивание и нагарообразование деталей двигателя внутреннего сгорания.

В последние годы рациональному маслоиспользованию в ДВС, проблемам сбора и регенерации отработанных моторных масел (ММ) уделяется большое внимание, что обусловлено необходимостью экономии энергетических ресурсов и снижения экологического давления на окружающую среду [1]. Проблема сбора, переработки и утилизации отработанных ММ особенно актуальна для морского флота. Опубликованные материалы по использованию на судах регенерированных смазочных материалов носят противоречивый характер и не позволяют судить об их качестве, особенностях процессов старения и влияния на дизель.

Рассмотрим эффективность использования в малоразмерном судовом дизеле без наддува отработанного унифицированного масла М10Г₂(цс) (ГОСТ 12337-84), прошедшего регенерацию с восстановлением эксплуатационных свойств до уровня ММ группы В₂. «Мягкая» регенерация этого масла в установках СРМ-100 посредством сепарирования с фактором разделения 2400 позволила почти полностью удалить из масла воду и нерастворимые примеси. Топливоотделение осуществлялось при помощи вакуумного пленочного испарителя. Нейтрализация кислотности произведена химическими методами.

Характеристики отработанных масел М10Г₂(цс) при использовании в течение 1,5-3 тыс. ч в судовых форсированных дизелях с средним эффективным давлением 0,8-1,6 МПа, работавших на дизельном топливе, приведены в таблице 1. Здесь же показаны параметры регенерированного масла этой марки и товарного М10В₂(с) (ГОСТ 12337-84), выбранного для сравнительных моторных испытаний. Основные физико-химические параметры регенерированного ММ, промаркированного как М10В₂(р), близки к показателям товарного продукта.

Моторные испытания регенерированного М10В₂(р) и товарного М10В₂(с) масел осуществляли в соответствии с ОСТ 24.060.09-89 на дизеле 2Ч10,5/13 (номинальная эффективная мощность 15 кВт; номинальная частота вращения коленчатого вала 25 с⁻¹) этапами по 250 ч. Нагрузка на дизель варьировалась в пределах 25-110% от номинальной мощности. Дизель работал на дизельном топливе Л-0,2-62 (ГОСТ 305-82).

Нагаро- и лакообразование в цилиндрах ДВС оценивали по выше указанному отраслевому стандарту. Износ поршневых колец и вкладышей мотылевых подшипников за этап испытаний определяли (по потере веса) взвешиванием этих деталей на аналитических весах, втулок цилиндров – методом искусственных баз с помощью прибора УПОИ-6.

Использование современных методов анализа [2] позволяет характеризовать основные направления старения ММ: термоокислительную деструкцию углеводородов, окисление,

срабатывание присадок, загрязнение масла нерастворимыми продуктами, процесс коллоидного старения.

Таблица 1 – Характеристики отработанного, регенерированного и товарного масел

Показатели	Масло М10Г ₂ (цс)		М10В ₂ (с)
	отработанное	регенерированное	
Вязкость кинематическая, мм ² /с	13,6	10,8	11,6
Щелочность, мгКОН/г	4,2	3,6	4,0
Кислотность, мгКОН/г	1,7	0,6	0,25
Зольность, %	1,6	1,2	0,9
Содержание нерастворимых в бензине (НРБ) примесей, %	3,7	0,13	0,05
Содержание воды, %	0,4	отсутствует	отсутствует
Температура вспышки в открытом тигле, °С	184	210	212

Общая схема группового анализа масел приведена в работе [3]. Использование ее позволило идентифицировать термоокислительную деструкцию углеводородов в работающих регенерированном и товарном маслах. Углеродный скелет молекул масла М10В₂(р) при работе в дизеле 2Ч10,5/13 практически не изменился, а в масле М10В₂(с) почти на четверть от исходного уменьшалось количество моноциклических нафтеновых и более чем на треть ароматических углеводородов.

Хроматическое разделение изоктановых растворов, осуществленное методом элюирования с использованием для комплексного анализа всех характеристик фракций рефлектотометрии, УФ-свечения и ИК-спектроскопии [2, 3] показало снижение у масла М10В₂(р) моноциклических нафтеновых углеводородов всего на 3,2% – от 61,3 до 58,1%. В то время как у масла М10В₂(с) их концентрация уменьшилась с 70,2 до 54,6%. Содержание моноциклических ароматических углеводородов в регенерированном масле практически не менялось и составляло 2,9-3,4%. У товарного масла количество этих продуктов изменилось на 6,8% (с 16,2 до 9,4%).

Высокая стабильность регенерированного масла по составу моно- и бициклических молекул предопределило высокую его термическую устойчивость, что привело к минимальному образованию смол при работе в дизеле 2Ч10,5/13. Концентрация смол S_m в этом масле при моторных испытаниях повысилась всего на 2,6% (с 11,4 до 14%). У товарного масла этот показатель изменялся в широких пределах – от 5 до 17,7% (рисунок 1). У сравниваемых ММ средний уровень содержания смол за этап испытаний примерно одинаков и достаточен для обеспечения низкого коэффициента полусухого трения в условиях граничной смазки.

Процессы окисления масел и срабатывания присадок контролировались потенциометрическим титрованием (ГОСТ 11362-96), диализом и инфракрасной спектроскопией. Для характеристики процесса окисления применялся показатель СО (степень окисления), который вычислялся по содержанию карбонильных групп – С=О продуктов окисления масла (данные ИК-спектроскопии) как отношение интегральной интенсивности полосы поглощения в области частот 1550-1850 см⁻¹ к интегральной интенсивности близлежащей полосы поглощения группы С=С ароматических ядер (1550-1650 см⁻¹).

Степень окисления масел СО регенерированного и товарного масел при работе в дизеле 2Ч10,5/13 отличалась значительно. Этот показатель у масла М10В₂(с) к концу этапа испытаний повышался до 7, в то время как у регенерированного масла М10В₂(р) степень окисления не превышала значений 3,3 (рисунок 1). Кинетика старения ММ по этому показателю указывает на значительный прирост карбонилсодержащих продуктов в товарном масле по мере его работы в дизеле. Накопление этих продуктов в регенерированном масле идет со скоростью почти в 2 раза более низкой.

Рост кислотности масла на базовом этапе (масло М10В₂(с)) стабилизировался на уровне 1,5 мгКОН/г. На этапе испытаний с регенерированным маслом стабилизация показателя К не наблюдалась и он после 100 ч работы продолжал линейно возрастать (см. рисунок 1). К концу этапа его значение составляло 2,1 мгКОН/г, то есть было почти в 1,6 раза выше, чем при работе на масле М10В₂(с). Высокое значение рН = 6,5-7,1 спиртобензольного раствора конечных проб исследуемых масел указывает на их низкую коррозионную агрессивность. Более высокое значение К у регенерируемого масла объясняется фиксацией при анализе кислотности помимо кислот продуктов срабатывания присадок, которых в масле М10В₂(р),

судя по их зольности, гораздо больше, чем в товарном ММ.

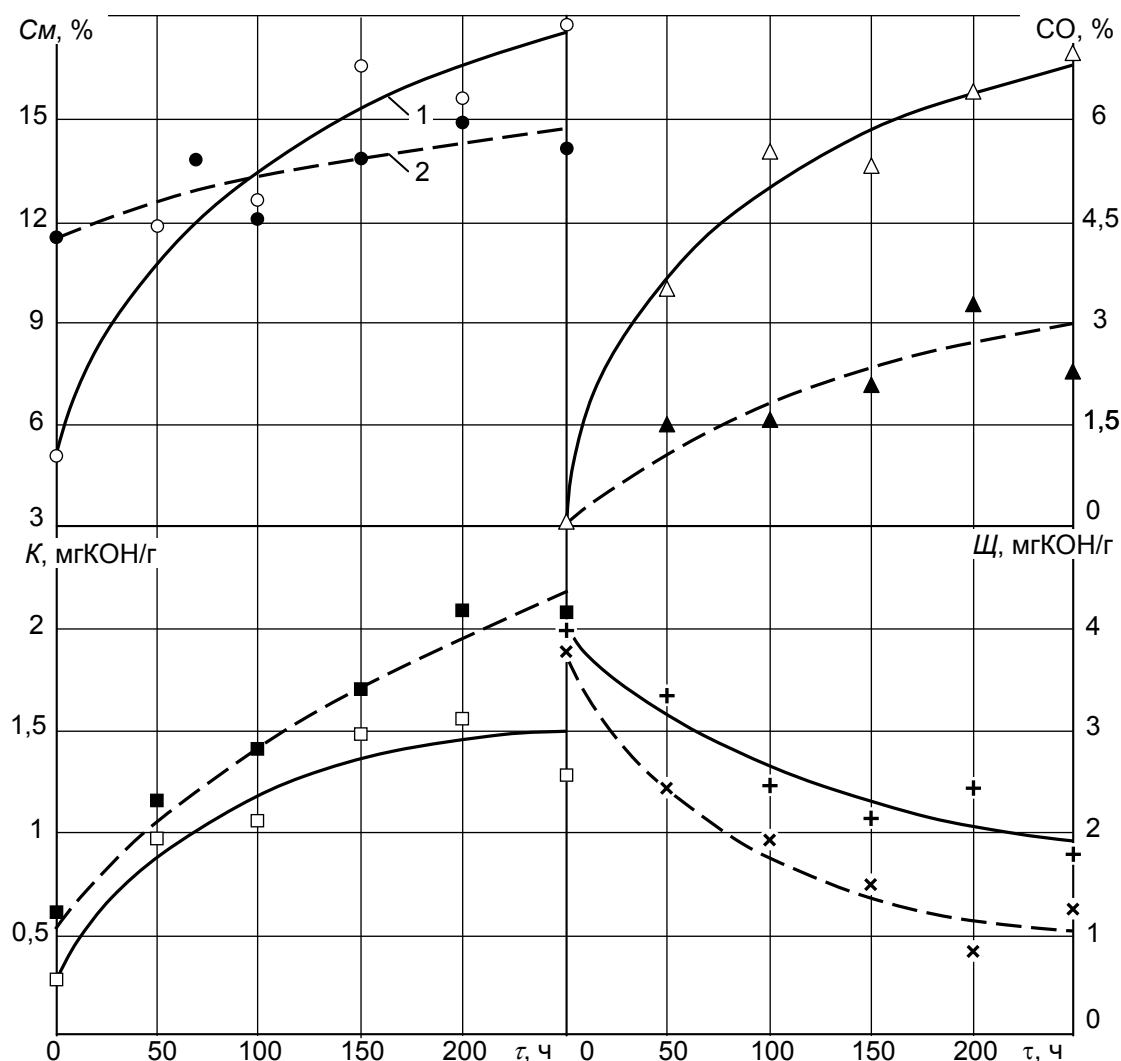


Рисунок 1 – Кинетика окисления товарного (1) и регенерированного (2) моторных масел в дизеле 2Ч10,5/13

Нейтрализующая способность регенерированного и товарного масел в процессе испытаний была довольно высока, так как их щелочность не падала ниже 0,8 мгКОН/г. При этом Щ товарного ММ за 250 ч работы уменьшилась почти вдвое, а для регенерированного – в четыре раза (см. рисунок 1). Более интенсивное падение щелочного числа масла М10В2(р) было вызвано не только срабатыванием присадок, но и удалением фильтрованием различных солей – продуктов срабатывания присадок и взаимодействия кислот ММ с металлами дизеля. Эта составляющая в регенерируемом масле была велика. Она наравне с присадками в активной форме фиксировалась показателем Щ. Поэтому у сравниваемых вариантов большая разница в кинетике снижения щелочности и срабатывания присадок (показатель П) (рисунок 2).

Количественный анализ на основе диализа и ИК-спектроскопии содержания в работавшем масле присадок в активной форме (см. рисунок 2) показал незначительное превышение скорости срабатывания присадок, входящих в масло М10В₂(р), по сравнению с присадками товарного ММ. Относительное срабатывание присадок за 250 ч работы масел в дизеле 2Ч10,5/13 не превышало 62%. Уровень их нейтрализующих и моюще-диспергирующих свойств оставался достаточным для дальнейшего использования в дизеле, на что указывает стабильное состояние дисперсной фазы нерастворимых загрязнений, медленное возрастание перепада давлений на масляном фильтре. Высокая активность диспергирующих и стабилизирующих присадок регенерированного масла, не смотря на более низкое значение показателей Щ и П у этого продукта, подтверждает характеристика загрязненности его нерастворимыми примесями.

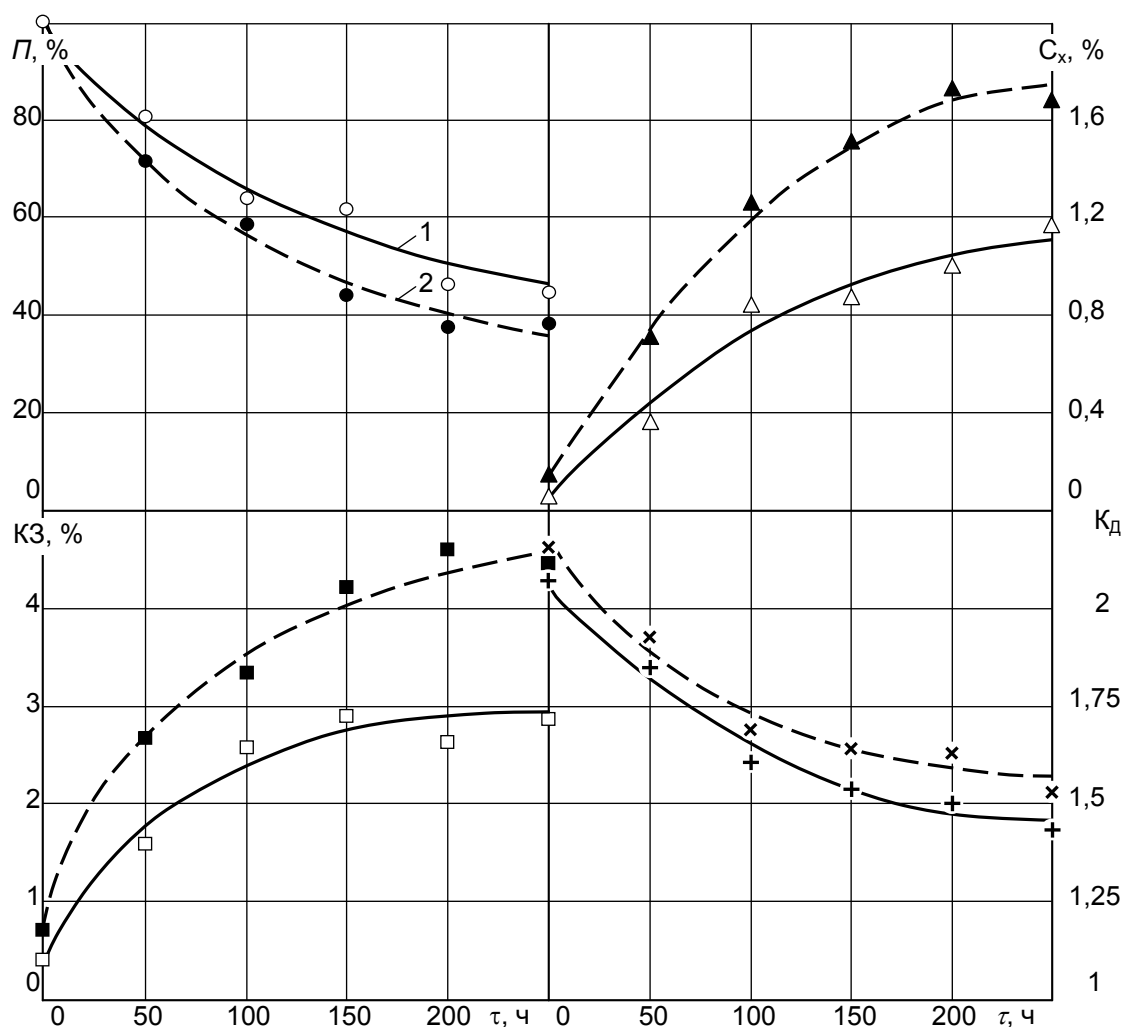


Рисунок 2 – Кинетика старения товарного (1) и регенерированного (2) моторных масел в дизеле 2Ч10,5/13

Загрязнение ММ грубодисперсными нерастворимыми соединениями исследовалось центрифугированием (ГОСТ 20684-75). Содержание в масле общих нерастворимых примесей определялось методами нефелометрии. Качественно-количественный анализ коллоидно-диспергированных частиц проведен на основе коллометрии. Загрязнение масла нерастворимыми в бензине (НРБ) продуктами (по данным центрифугирования) проходило более интенсивно на этапе с регенерированным ММ. Концентрация C_x этих продуктов за 250 ч работы масла М10В2(р) экспоненциально повышалась с 0,13 до 1,73% (см. рисунок 2). В базовом масле этих примесей было не более 1,2%, то есть уровень загрязнения отличался в 1,4 раза.

Коллоидное загрязнение масел КЗ определялось методом диализа по выходу концентрата. По данным этого анализа разница в коллоидно-диспергированных загрязнениях сравниваемых ММ оказалась еще больше. Показатель КЗ у регенерированного масла к концу этапа был в 1,7 раза выше, чем у товарного (см. рисунок 2), что указывает на более высокие диспергирующие и стабилизирующие свойства повторно используемого нефтепродукта.

Для качественной оценки дисперсности нерастворимых загрязнений использовали фотометрический метод. Он основан на зависимости рассеивающей способности диспергированных частиц разных размеров от длины волны падающего света. Коэффициент дисперсности K_d , характеризующий соотношение мелко- и крупнодисперсных загрязнений, был выше у регенерированного масла. В зависимости от продолжительности работы ММ в дизеле он менялся в пределах 1,4-2,2. Среднее его значение у М10В2(р) было на 6-12% выше, чем у товарного масла.

На более высокую дисперсность нерастворимых загрязнений в регенерированном масле указывает также более низкая интенсивность очистки этого нефтепродукта от НРБ при-

месей – 71 против 94 г/ч у М10В2(с) (таблица 2). Этот же факт подтверждает повышенный срок службы масляных фильтрующих элементов (ФЭ), величина которого соответствовала значениям (в относительных единицах) 124 и 100% при очистке регенерированного и товарного масел.

Таблица 2 – Моторная эффективность в дизеле 2Ч10,5/13 регенерированного и товарного масел

Показатели	Масла	
	М10В ₂ (р)	М10В ₂ (с)
Работа системы смазки:		
– скорость изнашивания масла НРБ продуктами, г/ч	1,65	1,46
– угар масла, г/(кВт·ч)	1,72	1,85
– интенсивность очистки масла от НРБ продуктов, г/ч	71	94
– срок службы ФЭ, %	121	100
Изнашивание деталей ДВС:		
– скорость изнашивания поршневых колец, г/1000 ч	1,14	0,92
– скорость изнашивания цилиндрических втулок, мкм/1000 ч	25,2	21,4
– скорость изнашивания вкладышей мотылевых подшипников, г/1000 ч	0,083	0,091
Нагаро- и лакообразование на поршнях, балл:		
– головка поршня	1,8	1,7
– поршневые канавки и перемычки	1,9	2,2
– юбка поршня	0,8	1,3
– общая оценка	4,5	5,2

Угар ММ был более низким на этапе с М10В2(р). Это объясняется более узким фракционным составом этого масла, так как наиболее легкие его фракции были удалены при регенерации. Вполне сопоставимы были в сравниваемых этапах не только угар ММ, но и скорость их загрязнения НРБ продуктами (1,46 и 1,65 г/ч), что указывает на одинаковые условия работы масел.

Анализ изнашивания деталей дизеля показал (см. таблицу 2) равноценность противоизносных свойств сравниваемых ММ, хотя по скорости изнашивания подшипников некоторое преимущество было у М10В₂(р), а по деталям цилиндрической группы – у товарного масла. Повышенный износ поршневых колец, особенно первого компрессионного, и цилиндрических втулок в верхнем поясе при работе на регенерированном масле был вызван более высокой его зольностью и большим уровнем загрязнения НРБ продуктами.

Отличие среднестатистических данных по изнашиванию деталей дизеля 2Ч10,5/13 в проведенных моторных испытаниях составляло 11-13%. Задиров поверхностей деталей, в том числе кулачков и коромысел привода клапанов газораспределения, которые смазывались рассматриваемыми маслами, не наблюдалось, что указывает на хорошую их маслянистость и удовлетворительную работу в условиях полусухого трения (граничной смазки). Натиров на поверхности поршней не обнаружено.

Оценка нагаро- и лакообразования (см. таблицу 2) показала отсутствие закоксованных поршневых колец. Они были подвижны. Дренажные отверстия на поршнях не были забиты отложениями. Общая оценка нагаров была примерно одинакова – 4,5 и 5,2 баллов соответственно при работе на регенерированном и товарном маслах. Более высокое лакообразование на юбках поршней было отмечено при использовании масла М10В₂(с), что обусловлено повышенным его смолообразованием.

Подводя итоги моторных испытаний регенерированного и товарного ММ группы В₂ в малоразмерном судовом дизеле без наддува следует отметить:

1 Более высокую термоокислительную стабильность регенерированного масла, что обусловлено малым изменением группового состава его углеводородной основы в результате незначительного окисления моноциклических нефтяных и ароматических фракций при работе в дизеле 2Ч10,5/13.

2 Основные направления и интенсивность старения регенерированного и товарного масел одинаковы. Сроки их службы в нефорсированном дизеле могут быть лимитированы загрязнением НРБ продуктами и срабатыванием присадок.

3 Противоизносные и антинагарные свойства регенерированного и товарного масел довольно близки. Ухудшения маслянистости нефтепродукта М10В2(р) из-за низкого смолообразования в процессе его работы в дизеле без наддува не наблюдается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бенуа, Г.Ф. Использование отработанных масел за рубежом / Г.Ф. Бенуа, В.А. Сомов // Двигателестроение. -1980. -№5. -С. 51-53.

2 Комплекс методов для исследования процесса старения масла в дизелях / Е.В. Данилова, О.А. Никифоров, А.И. Турбина, В.А. Сомов // Химия и технология топлив и масел. -1976. -№5. -С. 42-44.

3 Бенуа, Г.Ф. Сравнение процессов старения товарного и регенерированного моторных масел при работе в судовом дизеле / Г.Ф. Бенуа, Е.В. Данилова, Д.Г. Точильников // Двигателестроение. -1979. -№11. -С. 46-48.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *маслоиспользование, регенерированное масло, старение смазочного масла, моторные испытания*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Тарасов Валерий Васильевич, начальник тренажерного центра ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

ВЫБОР И РАСЧЕТ ГЛУШИТЕЛЯ ДИЗЕЛЯ С ДВОЙНОЙ СИСТЕМОЙ ВЫПУСКА

ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

А.А. Балашов, А.С. Антошкин, А.С. Колокольцев

THE CHOICE AND CALCULATIONS OF A SILENCER FOR A DIESEL ENGINE WITH THE DOUBLE EXHAUST SYSTEM

«Altay state technical university named I.I. Polzunov»

A.A. Balashov, A.S. Antoshkin, A.S. Kolokolcev

The article contains general requirements for engine emission systems and the approach to their solution; the method and an example of the calculation definition of the acoustic characteristics of an engine emission system; the comparative calculation analysis of jet and combined silencers has been carried out.

Keywords: *diesel engine, exhaust system, silencer, choice, calculation*

Сформулированы общие требования, предъявляемые к системам выпуска двигателей и подход к их решению. Приведена методика и пример расчетного определения акустических характеристик системы выпуска двигателя; проведен сравнительный расчетный анализ глушителей реактивного и комбинированного типов.

Известно, что период выпуска отработавших газов (ОГ) поршневых двигателей внутреннего сгорания (ПДВС) подразделяется на три этапа:

- свободный выпуск ОГ – с момента открытия выпускных клапанов до НМТ;
- принудительное вытеснение поршнем продуктов сгорания при движении его от НМТ до ВМТ;
- удаление продуктов сгорания (на участке перекрытия клапанов) за счет эжекционного действия потока ОГ или обратного их заброса во впускную систему.

Определяющим фактором шума выпуска ОГ является их свободный выпуск, который, к сожалению, в литературе освещен достаточно слабо. В свою очередь, свободный выпуск ОГ можно условно разбить еще на два участка:

- участок с надкритической скоростью истечения ОГ через выпускной клапан, занимающий не более 40° поворота коленчатого вала (°ПКВ);
- участок с подкритической скоростью истечения ОГ, занимающий остальную часть фазы открытия выпускного клапана.

При этом принято считать, что за период свободного выпуска необходимо удалить из цилиндра приблизительно 70% ОГ [10]. Это необходимо из-за снижения затрат мощности на совершение принудительного опорожнения цилиндров от ОГ.

При наддуве двигателей, фазу открытия выпускного клапана, с той же целью, приходится увеличивать до 80 °ПКВ, что приводит к значительной потере мощности в процессе расширения ОГ и увеличению насосных потерь.

В связи с вышеизложенным, с целью снижения потерь мощности в процессе расширения и вытеснения ОГ, можно организовать дополнительный (параллельный) выпуск в общий выпускной коллектор через окна в гильзах цилиндров, выполненные на уровне положения

поршня вблизи НМТ. Организация дополнительного проходного сечения в гильзах цилиндров в период свободного выпуска ОГ приведет к уменьшению фазы открытия выпускного клапана, снижению потерь мощности при расширении и вытеснения ОГ, а также можно ожидать некоторого снижения шума выпуска. Это «некоторое снижение шума выпуска» ОГ может появиться вследствие того, что продукты сгорания будут удаляться из цилиндра через два параллельных проходных сечения, то есть через выпускной клапан и окно в гильзе цилиндра с более низкими скоростями истечения по сравнению с двигателем, имеющим только основную систему выпуска через выпускной клапан. В связи с этим учесть снижение шума для двигателей с двойной системой выпуска ОГ по сравнению с обычными двигателями можно с помощью поправочного коэффициента снижения шума, так как удаление продуктов сгорания из цилиндров и в том и другом случае осуществляется в общий выпускной коллектор. Поэтому выбор и расчет глушителей шума выпуска ОГ для двигателей с двойным выпуском можно производить как для двигателей с обычной системой выпуска ОГ, то есть через выпускной клапан.

При расчете уровня шума выпуска ПДВС используется средняя скорость продуктов сгорания в выпускной системе за весь период выпуска, от открытия до закрытия выпускного клапана, которая составляет по литературным данным от 40 до 70 м/с, а авторы работы [9] определили скорость газов за период свободного выпуска в 500-1000 м/с, как для двухтактных, так и для четырехтактных дизелей, считая при этом, что выпускные газы вытекают из цилиндра в виде компактной массы с повышенным давлением, которое распространяется вдоль трубопровода. Анализ кривых изменения давления газов в выпускной системе, полученных опытным путем, показывает, что фронт давления движется от цилиндра с высокой скоростью. Передние части волн давления распространяются с околосвуковой скоростью, воздействуя при этом на крутизну волнового фронта.[9]

Значения скоростей 500-1000 м/с хорошо согласуются со временем открытия выпускного клапана при свободном истечении отработавших газов. Давление в цилиндре ко времени начала открытия выпускного клапана составляет 4-6 кг/см². Начало открытия выпускных клапанов четырехтактных двигателей составляет $\varphi_0 = 18-52^\circ \text{ПКВ}$ до НМТ. Принимаем в среднем $\varphi_0 = 45^\circ \text{ПКВ}$. Таким образом, время движения клапана от начала до полного открытия составляет для двигателя с частотой вращения 1500 мин⁻¹

$$t = (60/n) \cdot (\varphi_0/360) = 60/1500 \cdot 45/360 = 0,005 \text{ с,}$$

где n — частота вращения коленчатого вала двигателя, мин⁻¹;

φ_0 — угол начала открытия выпускного клапана до ВМТ.

Время истечения 3-5 кратного нормального объема газов из цилиндра равно $\approx 0,005 \text{ с}$, что сопоставимо со временем выстрела из любого типа оружия, при котором образуется ударная волна, несущая наибольшую энергию шума. Ударная волна образуется также при взрывах или сверхзвуковом истечении газов [5].

Таким образом, глушитель должен:

- разрушить ударную волну;
- погасить шум вытесняемого газа;
- сгладить его импульсный поток.

Выбор глушителя. Глушитель уменьшает шум системы выпуска за счет рассеяния энергии в камерах и на трубчатых перегородках. В зависимости от степени подавления шума они делятся на глушители:

- низкой степени или промышленные;
- умеренные или для населенных зон;
- высокой степени или критические.

Фирмами Perkins и Willson в системах подавления шума выпуска принята следующая концепция:

- для агрегатов, эксплуатирующихся в промышленной зоне, применяются глушители активного типа (тип А);
- для агрегатов, эксплуатирующихся в зоне жилых построек, применяются глушители резонансного типа с выравнивающими устройствами (тип Б);
- для агрегатов, эксплуатирующихся в зоне больниц и подобных учреждений, применяются последовательно соединенные глушители по схеме тип Б+тип А.

Глушители отличаются большим разнообразием технических решений. Но все их можно подразделить на два типа – активные (абсорбционные, диссипативные) и реактивные.

Первые содержат звукопоглощающий материал – в них происходит поглощение звуковой энергии; вторые не содержат такого материала, звуковая энергия в них теряется за счет многократного отражения от корпуса и перегородок и за счет перепуска через трубки (цельные или перфорированные) через ряд камер. Такое подразделение весьма условно, поскольку в каждом глушителе звуковая энергия и поглощается, и отражается, только в разных соотношениях.

Активные глушители обеспечивают необходимое снижение шума в широком диапазоне частот при небольшом аэродинамическом сопротивлении, поэтому они нашли широкое применение в вентиляционных, компрессорных, газотурбинных установках и на стендах испытания двигателей. Наиболее простыми из них являются трубчатые глушители, в которых каналы круглого, квадратного или прямоугольного сечений, выполненные из перфорированного листового материала с коэффициентом перфорации не менее 0,2, облицованы слоем звукопоглощающего материала (супертонкое стеклянное или базальтовое волокно, минераловатные плиты), защищенного слоем стеклоткани для предотвращения выдувания.

Существенным недостатком глушителей такого типа является «лучевой эффект», при котором часть звуковой мощности поглощается у стенок глушителя, а часть – «простреливается» по его оси.

Глушители реактивного типа применяются в основном для снижения шума с резко выраженными дискретными составляющими, свойственными для двигателей внутреннего сгорания.

Наиболее простая конструкция реактивных глушителей показана на рисунке 1. Камерный глушитель представляет собой внезапное расширение участка трубопровода. Величина заглушения в однокамерном глушителе может быть оценена, используя график на том же рисунке.

Разновидностью камерных глушителей являются резонансные глушители (рисунок 2) – это объемы с жесткими стенками, сообщающиеся с трубопроводом через отверстия, причем эти объемы могут быть выполнены ответвленными или концентричными.

Для обеспечения эффективности снижения шума двигателей внутреннего сгорания, глушители для них делаются в виде набора различных шумозаглушающих элементов реактивного типа, что обеспечивает широкополосность работы таких глушителей.

При построении таких систем стремятся к тому, чтобы объем каждого последующего резонатора превышал объем предыдущего – при этом возрастает эффективность глушения, при незначительном увеличении газодинамических потерь получают распространение комбинированные глушители, работающие одновременно и как абсорбционные, и как реактивные, например камерные глушители с облицованной звукопоглощающим материалом внутренней поверхностью камеры (или камер).

Несмотря на многообразие технических решений, до настоящего времени не создана единая научно обоснованная методика расчета геометрических параметров внутренних элементов глушителя, что существенно усложняет их разработку, обуславливает бессистемное проектирование. Кроме того, отсутствует единая методика расчета степени заглушения устройства. Большей частью заводы-изготовители выполняют приблизительный расчет, а затем путем изготовления ряда глушителей с различными геометрическими параметрами выполняется их доводка.

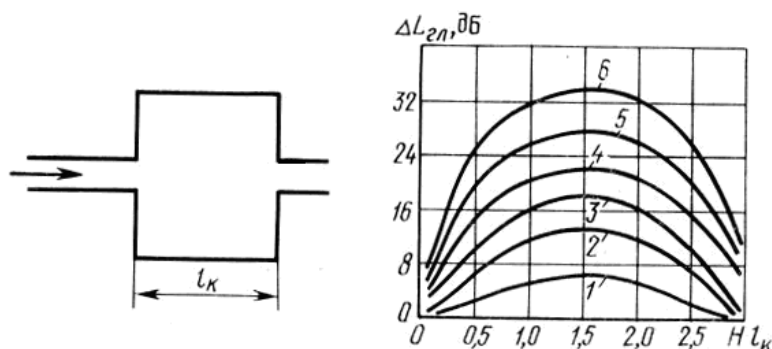


Рисунок 1 – Камерный глушитель и степень заглушения шума при различных отношениях диаметра камеры к диаметру трубопровода: 1)-4; 2)-9; 3)-16; 4)-25; 5)-49; 6)-100

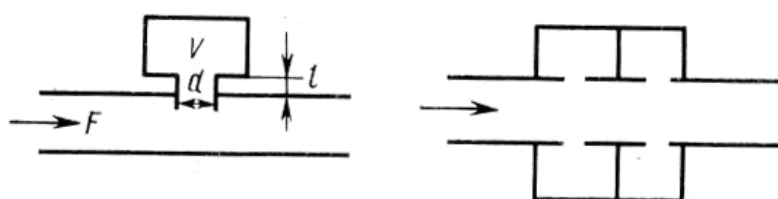


Рисунок 2 – Глушители резонансного типа

Даже в статье С.В. Белоцерковского и В.Е. Тольского «Автомобильные глушители: современные требования, тенденции развития, методы расчета и испытаний» приводится только общий подход к решению проблемы и полученные спектры частот звука в глушителе [1]. В патенте РФ 2056508 авторы Груданов В.Я. и Акуленко С.В. и их же статье на эту тему [7; 3] приведено лишь определение геометрических размеров и расположения отверстий в перегородках глушителя с использованием принципа «золотого сечения» и ряда Фибоначчи.

Анализ конструкций глушителей фирмы Willson показывает, что в ряде выполненных конструкций длина камер также близка к «золотому сечению».

В связи с изложенным, за основу принимается глушитель по патенту РФ 2056508 с камерами (рисунок 3), длины которых соответствуют «золотому сечению» и дополнительной облицовкой звукопоглощающим материалом.

Расчет глушителя. В качестве примера выполнен расчет для дизель-электрического агрегата 250 кВт производства завода СТС (г.Барнаул).

Диаметр входного патрубка глушителя принимаем равным диаметру выхлопного патрубка двигателя – 100 мм.

Глушение шума достигается за счет сосуда, который играет роль ресивера, сглаживающего импульсы давления от выпуска работающих цилиндров. Истечение газов из глушителя должно происходить при достаточно малых колебаниях избыточного давления. Установка внутри ресивера различных устройств служит для выравнивания пульсирующего потока газов.

Анализ конструкций глушителей показывает, что диаметр корпуса глушителя в 3,0-4,5 раза больше диаметра подводящего трубопровода. Отсюда принимаем диаметр глушителя равным 400 мм при диаметре подводящего трубопровода 100 мм.

Величина отношения длины глушителя к его диаметру ($L_{\text{эл}}/D_{\text{эл}}$) оказывает существенное влияние на степень глушения шума. При малом отношении глушители эффективны в узком диапазоне частот. Увеличение $L_{\text{эл}}$ позволяет расширить полосу затухания звука. Увеличение диаметра глушителя при неизменной его длине приводят в некоторых случаях к интенсивному затуханию звука. Обычно отношение длины глушителя к его диаметру составляет 2-4, однако у большинства глушителей оно составляет 6-8. Принимаем предварительно длину глушителя равной 1500 мм.

Поскольку соотношение длин камер соответствует «золотому сечению» и, приняв длину первой камеры за единицу, получаем общую условную длину глушителя

$$1 + 1,618 + 1,618^2 = 5,236.$$

В связи с этим длина первой камеры равна $1500/5,236 \approx 286$ мм и проверяем степень ее заглушения по формуле [4] для глушителей расширительного типа

$$L = 10 \lg \left[1 + 0,25 \left(\frac{D^2}{d^2} - \frac{d^2}{D^2} \right)^2 \sin^2 \left(\frac{2\pi f}{V_{\text{ср}} \cdot l} \right) \right], \text{ дБ},$$

где D – диаметр камеры глушителя, м;
 d – диаметр подводящего трубопровода, м;
 f – частота звуковых колебаний, Гц;
 l – длина камеры глушителя, м;
 $V_{\text{ср}}$ – средняя скорость звука, м/с,

$$V_{\text{ср}} \approx 20,1\sqrt{T};$$

T – температура горячего газа, К.

По данным изготовителя дизеля, температура газа на срезе выхлопного коллектора равна 420 °С. Следовательно скорость звука равна 529 м/с. Учитывая, что скорость звука в горячем газе близка к скорости ударной волны, принимаем ее равной 550 м/с.

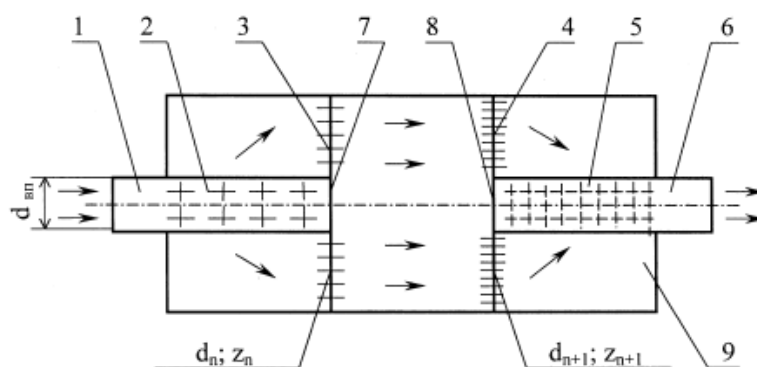


Рисунок 3 – Глушитель по патенту РФ 2056508

Расчет проводим в табличной форме по вышеприведенной формуле и по результатам расчета строим график (рисунок 4) степени заглушения в первой камере в третьоктавных полосах частот.

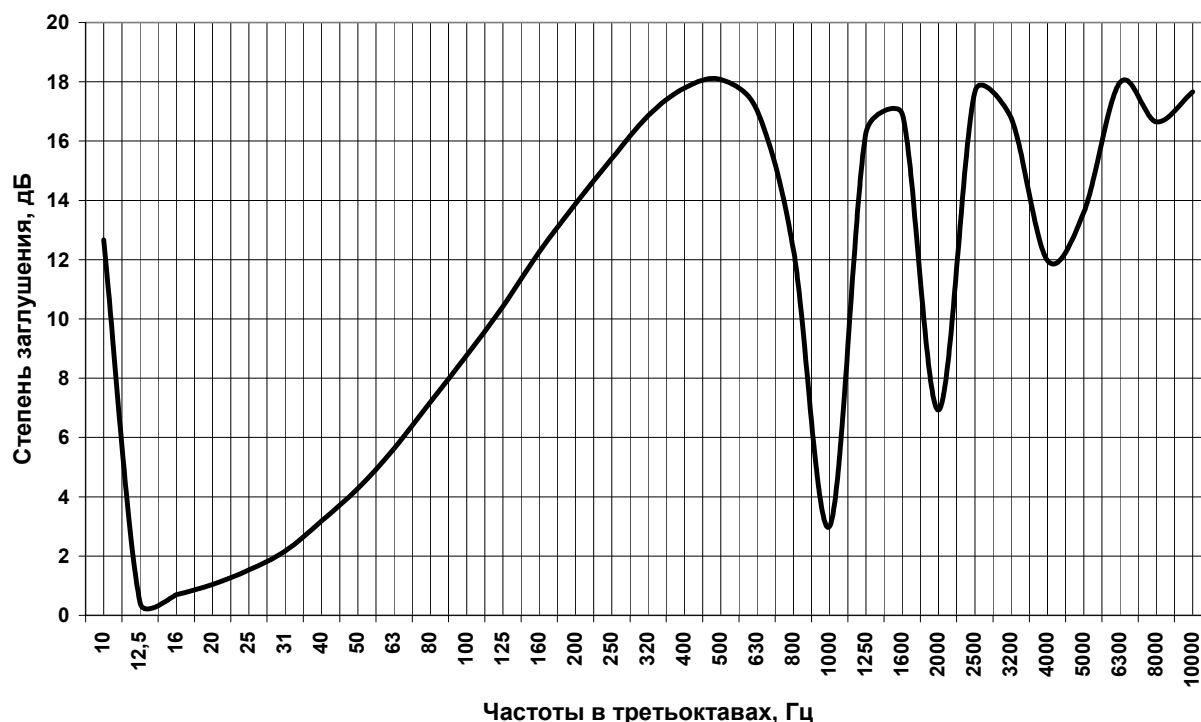


Рисунок 4 – Степень заглушения в первой камере в третьоктавных полосах частот

Из рассмотрения графика следует, что резонансная частота камеры составляет ≈ 1000 Гц, максимальное заглушение на частотах 400-600 Гц.

Для определения оптимальной длины первой камеры проводим расчеты по вышеприведенной формуле и строим графики для ее длин от 250 до 300 мм с шагом 5-10 мм (рисунок 5).

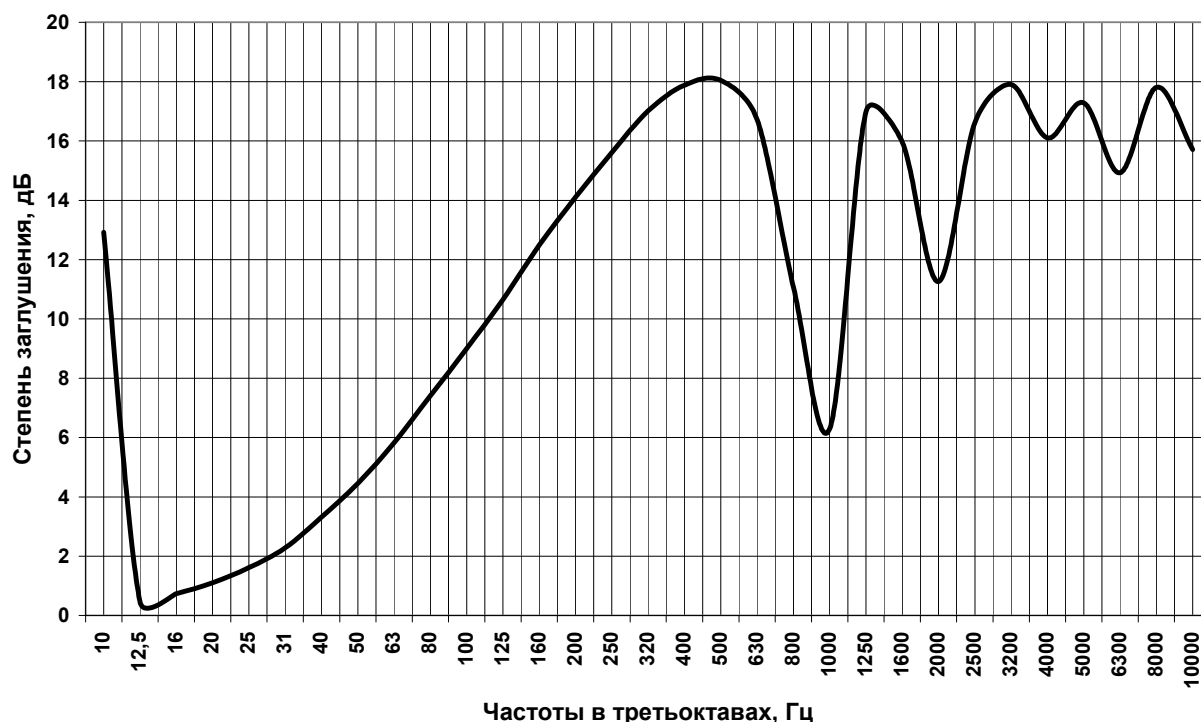


Рисунок 5 – Степень заглушения в первой камере в третьоктавных полосах частот

Из рассмотрения (рисунка 5) следует, что оптимальная длина первой камеры глушителя должна составлять 295 мм, как имеющая наименьшее количество «провалов» частотной характеристики.

Отсюда длины второй камеры должна быть равной

$$l_2 = l_1 \cdot 1,618 = 295 \cdot 1,618 \approx 477 \text{ мм.}$$

Проводим аналогичную проверку для второй камеры в диапазоне длин 450-500 мм (рисунок 6).

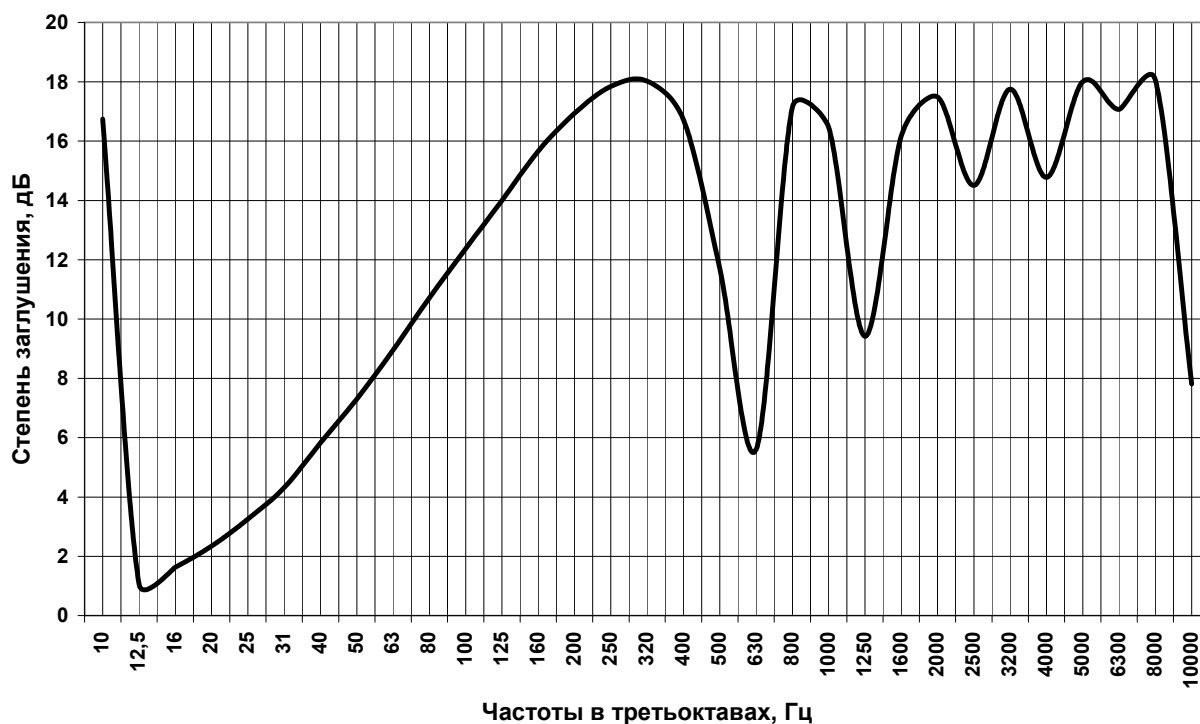


Рисунок 6 – Степень заглушения во второй камере в третьоктавных полосах частот

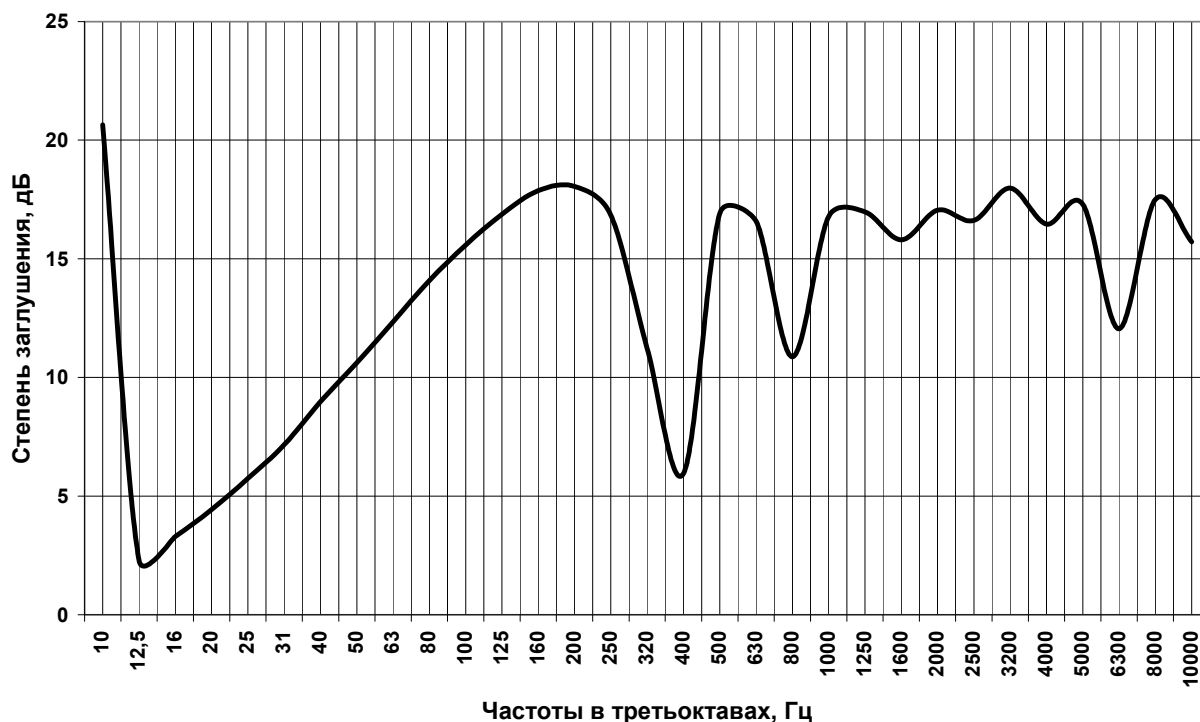


Рисунок 4 – Степень заглушения в третьей камере в третьоктавных полосах частот

Из рассмотрения рисунка 6 следует, что наибольшее заглушение второй камеры получается при ее длине 465 мм.

Длина третьей камеры должна составлять

$$l_3 = l_2 \cdot 1,618 = 465 \cdot 1,618 = 750 \text{ мм.}$$

Проводим проверку степени заглушения в камере аналогично предыдущим в диапазоне 750 ± 30 мм (рисунок 7).

Из рассмотрения построенных графиков следует, что оптимальной следует считать длину третьей камеры 735 мм, как имеющую наименьшее количество «провалов» в полосах частот.

Таким образом, общая длина глушителя составит

$$l_{\text{общ}} = l_1 + l_2 + l_3 = 295 + 465 + 735 = 1495 \text{ мм.}$$

Для определения степени заглушения устройства, суммируем степени заглушения всех трех камер. Для этого суммируем попарно степень заглушения в первой и второй камерах, а затем полученную сумму со степенью заглушения в третьей камере по формуле

$$L_{\Sigma} = L_{\text{max}} + \Delta L,$$

где L_{max} – максимальный уровень из пары сопоставляемых уровней;

ΔL – поправка, зависящая от разности уровней и определяемая по графику (рисунок 8).

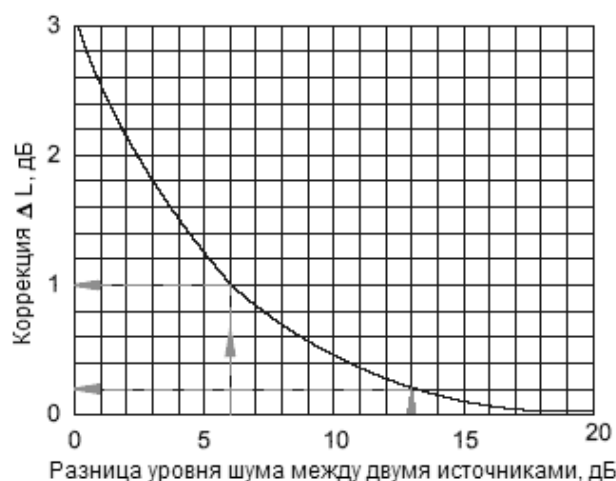


Рисунок 8 – Коррекция при сложении уровней шума двух источников

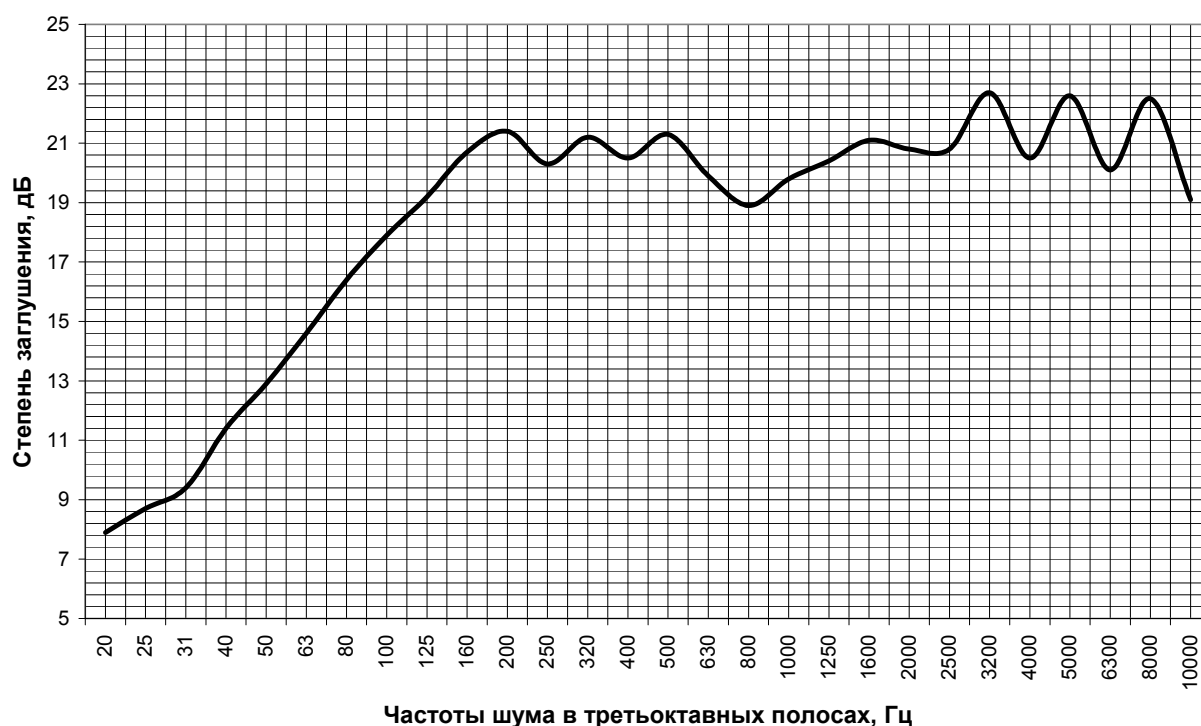


Рисунок 9 – График суммарного заглушения во всех трех камерах

Ожидаемое снижение уровня шума в глушителе равно 34 дБ. При определении общего уровня снижения шума, сложение производится по схеме (рисунок 10).

Дополнительное заглушения должна дать система перепусков между камерами, а также интерференционные процессы, происходящие при прохождении звука через решетки.

Большее повышение эффективности глушителя дает изоляция корпуса звукопоглощающим материалом. Наибольшую эффективность дает конструкция глушителя, в которой на перфорированную обечайку с открытой поверхностью не ниже 0,2 накладывается слой минеральной (базальтовой) ваты, и все помещается в основной корпус глушителя. Для защиты от выдувания базальта перфорированная обечайка покрывается слоем тонкого стекловолокна.

Расчет снижения звукового давления в активной части комбинированного глушителя производится по формуле [2]

$$\Delta L = 4,4 \varphi(\alpha) \frac{l}{D}, \text{ дБ},$$

где D – диаметр поперечного сечения глушителя или трубы, м;

l – длина глушителя, на которую нанесен звукопоглощающий материал, м;

ΔL – степень заглушения, дБ;

$\alpha, \varphi(\alpha)$ – коэффициент звукопоглощения и его функция (таблица).

Таблица – Значения коэффициента звукопоглощения и его функции

α	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\varphi(\alpha)$	0,10	0,20	0,35	0,50	0,65	0,90	1,20	1,60	2,00	4,00

Значение α для базальтового волокна с толщиной набивки 50 мм, согласно [1].

Глушитель изготавливается в виде трехкамерной системы (рисунок 8). Для повышения затухания звука, стенки второй и третьей камер глушителя выполнены перфорированными. Пространство между наружным корпусом и перфорированными стенками заполнено минеральной ватой. Высокочастотный шум в значительной степени поглощается набивкой.

Из рассмотрения результатов расчета следует, что при частоте звука 500 Гц и выше происходит практически полное заглушение. Таким образом, глушитель без набивки можно рассматривать как промышленный, разрушающий дискретные составляющие шума и предназначенный для агрегатов, работающих в удалении от жилых массивов. Глушители с набивкой из минеральной ваты толщиной 50 мм (оба варианта как с изоляцией корпуса, так

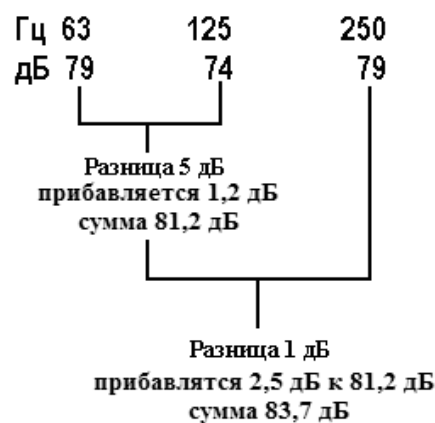
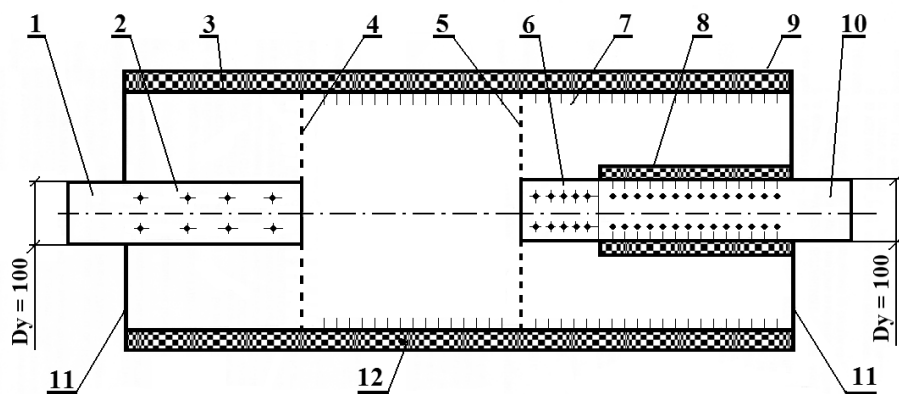


Рисунок 10 – Схема определения общего уровня снижения шума



1-входной патрубок; 2-перфорированный входной патрубок; 3-проточная часть корпуса; 4-первый диск; 5-второй диск; 6-перфорированный выходной патрубок; 7-перфорированный корпус из решетки металлопробивного; 8-набивка минеральной ваты в третьей камере; 9-наружный корпус; 10-выходной патрубок; 11-днище; 12-набивка минеральной ватой основного корпуса

Рисунок 11 – Схема глушителя (трехкамерная система)

и выходного патрубка, расположенного внутри третьей камеры) могут эксплуатироваться как в жилых массивах, так и в санкурортной зоне или как аварийные для больниц.

Расчет геометрических параметров глушителя. Длина глушителя, его диаметр и длины камер выбраны ранее.

Согласно рекомендациям проф. Груданова В.Я. [3] выбираем диаметры и количество отверстий в перфорации камер и решеток.

В соответствии с рекомендациями:

– площади проходных сечений внутренних перфорированных элементов по ходу движения отработавших газов должны быть равны между собой и равными $1,272 \cdot F$, где F – площадь поперечного сечения выходного патрубка дизеля;

– диаметры отверстий перфорации внутренних перфорированных элементов по ходу движения отработавших газов должны уменьшаться, а их количество увеличивается;

– диаметры отверстий перфорации во внутренних элементах глушителя связаны между собой соотношением

$$d_n = 1,618 \cdot d_{n+1},$$

где d_n – диаметр отверстий перфорации n -ного внутреннего элемента, считая от впускного патрубка;

– количество отверстий перфорации во внутренних элементах глушителя связаны между собой соотношением

$$Z_n = Z_{n+1} / 2,618$$

где Z_n – количество отверстий перфорации в n -ном внутреннем элементе глушителя, считая от впускного патрубка;

– расположение отверстий перфорации на входной и выходной перегородках принимается концентричным. Диаметры окружностей, на которых расположены отверстия, определяются по формуле

$$D_m = 1,272^m \cdot D_0,$$

где D_m – диаметр m -ной окружности, на которой расположены отверстия;

m – порядковый номер окружности, считая от оси глушителя;

D_0 – диаметр впускного патрубка.

Следовательно, площадь выпускного патрубка двигателя 7854 мм^2 (учитывая применяемые материалы – решет металлопробивных – расчет геометрических параметров глушителя ведется со стороны выходного патрубка).

Площадь проходного сечения перфораций равна
 $7854 \cdot 1,272 = 9990 \text{ мм}^2$.

Диаметр отверстий перфорированного выходного патрубка глушителя принимаем 5 мм;
 Количество отверстий выходного патрубка

$$9990 / \left(\frac{\pi(5)^2}{4} \right) = 509, \text{ принимаем } 520,$$

что составляет длину перфорированной вставки из решета металлопробивного $5,0 \times 8,0 \times 35,4 \times 1,0$ (диаметр отверстий 5 мм, расстояние между отверстиями 8 мм, открытая поверхность 35,4%, толщина материала 1 мм) равно 90 мм, принимаем 100 мм.

Диаметр отверстий второго перфорированного диска

$$1,618 \cdot 5 = 8,09 \text{ мм, принимаем равным } 8 \text{ мм.}$$

Количество отверстий второго перфорированного диска 195.

Диаметр отверстий первого перфорированного диска

$$1,618 \cdot 8 = 12,9 \text{ мм, принимаем равным } 13 \text{ мм.}$$

Количество отверстий первого перфорированного диска 74,5 принимаем 75.

Диаметр отверстий входной перфорированной трубы

$$1,618 \cdot 13 \approx 21 \text{ мм, принимаем } 18.$$

Количество отверстий входной перфорированной трубы равно 28,6, принимаем 28 расположенных в 4 ряда (каждый ряд под углом 90° к предыдущему) с шагом 32 мм. Отверстия в каждом ряду располагаются в шахматном порядке к предыдущему ряду:

– первый диаметр расположения отверстий

$$100 \cdot 1,272 = 127 \text{ мм;}$$

- второй диаметр расположения отверстий
 $100 \cdot (1,272)^2 = 161,8$ мм, принимаем 162 мм;
- третий диаметр расположения отверстий
 $100 \cdot (1,272)^3 = 205,8$ мм, принимаем 206 мм;
- четвертый диаметр расположения отверстий
 $100 \cdot (1,272)^4 = 261,8$ мм, принимаем 262 мм;
- пятый диаметр расположения отверстий
 $100 \cdot (1,272)^5 = 333$ мм.

Первый диск: на первом диаметре 8 отверстий равномерно расположенных по окружности; на втором диаметре 12 отверстий равномерно расположенных по окружности; на третьем диаметре 16 отверстий равномерно расположенных по окружности; на четвертом диаметре 18 отверстий равномерно расположенных по окружности; на пятом диаметре 24 отверстия равномерно расположенных по окружности.

Второй диск: на первом диаметре 22 отверстия с шагом ≈ 18 мм; на втором диаметре 28 отверстий с шагом ≈ 18 мм; на третьем диаметре 36 отверстий с шагом ≈ 18 мм; на четвертом диаметре 46 отверстий с шагом ≈ 18 мм; на пятом диаметре 58 отверстий с шагом ≈ 18 мм.

Для большего снижения уровня шума в глушителе, вместо неперфорированной части выходной трубы с $D_y = 100$ мм установлена перфорированная часть с таким же условным проходом с покрытием ее базальтовым волокном толщиной 50 мм и помещенным в кожу.

Испытания глушителя в составе контейнерного дизель-электрического агрегата ЗАО завод «СТС» показали хорошую сходимость результатов расчета с замерами. Уровень шума агрегата, замеренный на расстоянии 5 м от корпуса контейнера, составил 55 дБ. Аналогичные результаты получены и для агрегата мощностью 640 кВт производства ООО «Президент-Нева-Алтай».

Работа выполнена при поддержке ФЦП (Научные и научно-педагогические кадры инновационной России) на 2009-2013 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Белоцерковский, С.В. Автомобильные глушители: современные требования, тенденции развития, методы расчета и испытаний [Электронный ресурс] / С.В. Белоцерковский, В.Е. Тольский. -Режим доступа: <http://www.sistema-vihlora.ru/page.php?pageId=53>.
- 2 Григорьян, Ф.Е. Расчет и проектирование глушителей шума энергоустановок / Ф.Е. Григорьян, Е.А. Перцовский. -Л.: Энергия, Ленингр. отд-ние, 1980.
- 3 Груданов, В.Я. Золотое сечение в конструировании глушителей шума двигателей внутреннего сгорания [Электронный ресурс] / В.Я. Груданов, С.В. Акуленко // Циклы: материалы Третьей междунар. конф. / СевКавГТУ. -Ставрополь, 2001. -Режим доступа: www.stav.edu.ru/_docs/pdf/cycles/2001/1/1-29.pdf.
- 4 Дизели: справочник / под ред. В.А. Ваншейдта. -М.; Л.: Машиностроение, 1964.
- 5 Компанеец, А.С. Ударные волны / А.С. Компанеец. -М.: Физматгиз, 1963.
- 6 Ливенцев, Ф.Л. Силовые установки с ДВС / Ф.Л. Ливенцев. -Л.: Машиностроение, 1969.
- 7 Пат. 2056508 Российская Федерация. МПК F 01 N1/08 / Груданов Владимир Яковлевич, Акуленко Сергей Владимирович; заявитель и патентообладатель Могилев. технол. ин-т. -Режим доступа: ru-patent.info/20/55-59/2056508.html.
- 8 Тейлор, Р. Шум [Электронный ресурс] / Р. Тейлор. -Режим доступа: www.coolwind.ru/books/shum/htm.
- 9 Теория рабочих процессов поршневых и комбинированных двигателей / под ред. А.С. Орлина. -М.: Машиностроение, 1971.
- 10 Гальговский, В.Р. Исследование выпускных каналов дизелей / В.Р. Гальговский, И.Ф. Каракулина // Двигатели внутреннего сгорания. -Ярославль, 1975.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизель, система выпуска, глушители, выбор, расчет
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Балашов Андрей Алексеевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
 Антошкин Александр Сергеевич, инженер ГОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
 Колокольцев Андрей Сергеевич, аспирант ГОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ГОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРЕССОВОГО СОЕДИНЕНИЯ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ВАГОНА

ГОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщения»

И.А. Майба, С.В. Кротов, А.М. Ананко

FORECASTING OF BEARING ABILITY OF WHEEL-AXLE ASSEMBLY OF WHEEL PAIR THE RAILWAY CAR

«Rostov state transport university»

I.A. Maiba, S.V. Krotov, A.M. Ananko

In article questions of use regression the analysis to calculation of wheel pair are taken up. Forecasting of bearing ability of wheel-axle assembly on size of sliding zones in contact of a wheel to an axis is executed.

Keywords: regression analysis, wheel-axle assembly, bearing ability

Рассмотрены вопросы использования регрессионного анализа к расчету колесной пары. Выполнено прогнозирование несущей способности по величине зон скольжения в контакте колеса с осью.

В связи с увеличением объема эмпирических исследований и с широким распространением таких исследований в самых различных областях (техника, экономика, медицина и т.п.), происходит значительное усложнение представлений о соотношении между эмпирическими данными и извлекаемой информацией.

Под эмпирическими можно понимать комплекс данных, получаемых в численном эксперименте, например при помощи метода конечных элементов, в результате которого выполняются расчеты сложных систем, таких как колесная пара и, в частности, ее прессовое соединение [1]. К этим данным следует отнести и исходные данные о совокупности нагружения колесной пары эксплуатационными нагрузками, физико-механическими свойствами взаимодействующих элементов подвижного состава и напряженно-деформированное состояние элементов колесной пары.

Некоторые эмпирические данные не содержат непосредственной информации о наиболее существенных внутренних характеристиках или свойствах изучаемого явления [2]. В частности, в прессовом соединении колеса и оси при знакопеременном изгибе присутствуют зоны взаимного скольжения и сцепления, определяющие надежность соединения колеса и оси. Зоны скольжения – источник образования фреттинг-коррозии, которая ведет к снижению усталостной прочности оси и может приводить к трещинам, а при значительных величинах и к нарушению целостности соединения. Данные о несущей способности прессового соединения колесной пары, например, могут включать такие косвенные характеристики, как влияние компонент тензора напряжений на процессы взаимодействия колеса и оси при сцеплении и скольжении в сопряжении, влияние факторов контактного давления на напряженное состояние в соединении и т.п.

Непосредственное измерение величин зон скольжения и сцепления в прессовом соединении колеса и оси вагонной колесной пары вообще невозможно, поэтому применение множественного регрессионного анализа поможет установить связь между различного рода нагружающими внешними и внутренними силовыми факторами и зонами сцепления и скольжения.

В множественном регрессионном анализе рассматривается связь между одной переменной, называемой зависимой величиной, и несколькими другими, называемыми независимыми переменными. Связь эта представляется в виде математической модели, то есть уравнения, которое связывает зависимую переменную с независимыми посредством функции регрессии, зависящей также от набора неизвестных параметров.

Регрессионный анализ применяется в тех случаях, когда одна или несколько переменных являются регулируемыми величинами. Это значит, что значение переменной y определяется в зависимости от фиксированных значений переменных $X_1, \dots, X_p$. Известно, что регрессия Y на эти переменные является лучшим инструментом для получения прогноза y по значениям $x_1, \dots, x_p$. Под прогнозом следует понимать предсказание, сделанное относительно значений новых наблюдений, принадлежащих к совокупности, которая уже изучалась и анализировалась [2]. В статистической теории слово «прогноз» имеет иной смысл по сравнению с его традиционным употреблением, когда это слово используют применительно к

новым данным, о которых в момент составления прогноза ничего конкретно не было известно. Величину Y можно аппроксимировать посредством функции регрессии и уравнение модели, выражающей зависимость между зависимой и независимыми переменными, можно записать в виде

$$y = f(x_1, \dots, x_p; \beta_1, \dots, \beta_m) + e,$$

где $\beta_1, \dots, \beta_m$ – неизвестные параметры;

e – ошибка аппроксимации y посредством функции регрессии.

Так, если $m = p + 1$ и

$$f(x_1, \dots, x_p; \beta_1, \dots, \beta_m) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p,$$

то будем иметь модель множественной линейной регрессии

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p + e.$$

Параметры модели оцениваются по выборке объема $n = 96$ (количество вариантов расчета колесной пары), то есть фиксируются некоторые значения нагружающих факторов $x_1, \dots, x_p$, а затем в подпопуляции, определяемой этими значениями, методом конечных элементов определяется значение переменной y , в данном случае именуемой как «зона скольжения». Затем данный алгоритм повторяется, пока не будут перебраны все возможные сочетания фиксированных на двух и трех уровнях переменные $X_1, \dots, X_p$. В данном случае предполагается, что $x_{1i}, \dots, x_{pi}; i = 1, \dots, n$ – это фиксированные значения переменных $X_1, \dots, X_p$, здесь $X_1 = x_{1i}, \dots, X_p = x_{pi}$, а y_i – наблюдаемое (в данном случае – рассчитанное) значение переменной Y .

Для получения оценок по методу наименьших квадратов $b_0, b_1, \dots, b_p$ можно воспользоваться программой линейной регрессии из пакета «STATISTICA» [3]. Оценка уравнения множественной линейной регрессии может быть представлена в виде

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_p x_p.$$

При проведении численного эксперимента уровни варьируемых величин выбирались так: вертикальная нагрузка на ось (VERT) – 216-245 кН; горизонтальная нагрузка на колесо (POPER) – 60-120 кН; крутящий момент (MOKR) – 0-1700 кН·см; режим торможения (TORM) – нет торможения; торможение экстренное (тепловой поток к поверхности колеса 151,5 кВт в течение 48 с и торможение служебное (тепловой поток 39,44 кВт к поверхности колеса в течение 1200 с); эксцентриситет точки контакта колеса с рельсом по отношению к центру соединения колеса и оси (EXCENT) – 2-7 см; толщина обода колеса (TOLOBOD) – 7-2,2 см [4].

В качестве функции отклика (зависимый параметр) принята величина зон скольжения (ZONESKOL) в процентах [5].

В результате проведения полного факторного эксперимента определено напряженно-деформированное состояние колеса и оси колесной пары вагона при помощи МКЭ, а оценка уравнения множественной регрессии по результатам расчета имеет следующий вид

$$\hat{y} = 0,034 + 0,11x_1 + 0,47x_2 - 0,07x_3 - 0,16x_4 - 0,41x_5 - 0,16x_6.$$

Коэффициент детерминации, $R^2 = 0,454$, то есть примерно 45% дисперсии объясняется регрессией Y по $X_1, \dots, X_6$. Расчетное значение критерия Фишера

$$F = \frac{R^2(n-p-1)}{(1-R^2)p} = \frac{0,454(96-6-1)}{(1-0,454) \cdot 6} = 12,32,$$

при табличном значении $F(6,89) = 4,2$. Менее чем при 1% уровне значимости уравнение статистически значимо описывает результаты эксперимента и гипотезу о равенстве нулю коэффициентов при переменных в регрессионном уравнении $H_0: \beta_1 = \dots = \beta_p = 0$ можно отбросить с вероятностью $P < 10^{-3}$ [5].

Используя данную модель регрессии, проведем инженерную оценку зон скольжения при различных сочетаниях нагружающих факторов, с учетом перспективы роста вертикальной нагрузки. В таблице 1 указаны коэффициенты β при переменных в уравнении регрессии; значения переменных (value); коэффициенты, умноженные на значения переменных ($\beta \cdot \text{value}$); свободный член (intercept) и результат предсказания (predicted) – 0,3899, то есть 39% площади контакта колеса и оси находится в состоянии скольжения [6]. Также показаны

доверительные интервалы (CL-confidence limit). В данном случае незначительный разброс доверительного интервала говорит о точности прогнозирования.

Таблица 1 – Величина зон скольжения при вертикальной нагрузке 300 кН/ось, служебном торможении и изношенном ободе

Variable	Predicting Values for (planFac41) variable: ZONESKOL		
	B-Weight	Value	B-Weight * Value
VERT	0.001088	300.0000	0.326358
POPER	0.002233	60.0000	0.133989
MOKR	-0.000012	0.0000	0.000000
TORM	-0.000358	39.4000	-0.013962
EXCENT	-0.024893	2.8000	-0.069700
TOLOBOD	-0.009262	2.2000	-0.020376
Intercept			0.033665
Predicted			0.389973
-95,0%CL			0.382688
+95,0%CL			0.397258

Таблица 2 – Величина зон скольжения при вертикальной нагрузке 300 кН/ось, служебном торможении и неизношенном ободе

Variable	Predicting Values for (planFac41) variable: ZONESKOL		
	B-Weight	Value	B-Weight * Value
VERT	0.001088	300.0000	0.326358
POPER	0.002233	60.0000	0.133989
MOKR	-0.000012	0.0000	0.000000
TORM	-0.000358	39.4000	-0.013962
EXCENT	-0.024893	2.8000	-0.069700
TOLOBOD	-0.009262	7.0000	-0.064833
Intercept			0.033665
Predicted			0.345516
-95,0%CL			0.338211
+95,0%CL			0.352821

При отсутствии температурного воздействия и крутящего момента величина зон скольжения еще выше – 53,8% (таблица 3). При достижении вертикальной нагрузкой на ось значения 350 кН величина зон скольжения достигает 45,3% (таблица 4).

Таблица 3 – Величина зон скольжения при горизонтальной нагрузке 120 кН, при отсутствии торможения и изношенном ободе

Variable	Predicting Values for (planFac41) variable: ZONESKOL		
	B-Weight	Value	B-Weight * Value
VERT	0.001088	300.0000	0.326358
POPER	0.002233	120.0000	0.267977
MOKR	-0.000012	0.0000	0.000000
TORM	-0.000358	0.0000	0.000000
EXCENT	-0.024893	2.8000	-0.069700
TOLOBOD	-0.009262	2.2000	-0.020376
Intercept			0.033665
Predicted			0.537923
-95,0%CL			0.530528
+95,0%CL			0.545318

Таблица 4 – Величина зон скольжения при вертикальной нагрузке 350 кН/ось, при отсутствии торможения и изношенном ободе

Variable	Predicting Values for (planFac41) variable: ZONESKOL		
	B-Weight	Value	B-Weight * Value
VERT	0.001088	350.0000	0.380751
POPER	0.002217	60.0000	0.133006
MOKR	-0.000013	0.0000	0.000000
TORM	-0.000347	0.0000	0.000000
EXCENT	-0.024879	2.8000	-0.069661
TOLOBOD	-0.009124	2.2000	-0.025547
Intercept			0.034045
Predicted			0.452594
-95,0%CL			0.262511
+95,0%CL			0.642677

Таким образом, при росте нагрузки на ось свыше 300 кН площадь зон скольжения становится весьма высокой. Необходимо отметить, что в процессе движения динамические нагрузки могут достигать и более значительных величин, что было зафиксировано Кудрявцевым Н.Н. [6], а это естественно скажется и на величине зон скольжения в прессовом соединении.

Влияние высокой горизонтальной нагрузки также неблагоприятно: величина зон скольжения достигает значительных величин, снижая несущую способность прессового соединения колесной пары.

Используя полученные результаты, как базу данных для сравнения, можно отслеживать неблагоприятные для прессового соединения сочетания нагружающих факторов в эксплуатации при использовании систем мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Браверманн, Э.М. Структурные методы обработки данных / Э.М. Браверманн, И.Б. Мучник. -М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. -464 с.
 - 2 Афифи, А. Статистический анализ: подход с использованием ЭВМ: пер. с англ. / А. Афифи, С. Эйзен. -М.: Мир, 1982. -488 с.
 - 3 Боровиков, В.П. Популярное введение в программу STATISTICA / В.П. Боровиков. -М.: КомпьютерПресс, 1998. -267 с.
 - 4 Кротов, В.П. Оценка несущей способности колесной пары при повышенных нагрузках / В.П. Кротов, С.В. Кротов // Вестн. РГУПС. -2005. -№1. -С. 35-38.
 - 5 Кротов, С.В. Классификация параметров несущей способности прессового соединения колесной пары железнодорожного транспортного средства / С.В. Кротов, В.П. Кротов // Вестн. РГУПС. -2007. -№ 2. -С. 22-28.
 - 6 Динамические нагрузки ходовых частей грузовых вагонов / под ред. Н.Н. Кудрявцева. -М.: Транспорт, 1977. -143с. -(Труды ВНИИЖТа; -Вып. 572).
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: регрессионный анализ, прессовое соединение колеса и оси, несущая способность
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Майба Игорь Альбертович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «РГУПС»
 Кротов Сергей Викторович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «РГУПС»
 Ананко Анатолий Михайлович, аспирант ГОУ ВПО «РГУПС»
- ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Стрелкового полка народного ополчения, 2, ГОУ ВПО «РГУПС»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВНЕШНЕЙ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ НА РЕЖИМАХ ПОСТОЯННОЙ МОЩНОСТИ

ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»
 ОАО «Производственное объединение «Алтайский моторный завод»

Г.Д. Матиевский, А.Н. Любимов

USING AN EXTERNAL HIGH-SPEED PERFORMANCE FOR THE ANALYSIS OF PERFORMANCE AT CONSTANT POWER MODES

«Altay state technical university named I.I. Polzunov»
 Production association «Altai motor plant»
 G.D. Matievskij, A.N. Ljubimov

The possibility of increasing the stock torque characteristics of the establishment of a permanent capacity. The changes of power and economy of diesel. Propose an algorithm for calculating the optimal frequency for the fuel consumption.

Keywords: diesel, fast response, constant power, efficiency, flexibility, fuel

Рассматривается возможность повышения запаса крутящего момента созданием характеристики постоянной мощности. Анализируется изменение мощности и экономичности дизеля. Предлагается алгоритм расчета оптимальной частоты по расходу топлива.

Организация работы двигателя на режимах постоянной мощности рассматривается как средство достижения ряда преимуществ двигателя по снижению расхода топлива, повышению коэффициента приспособляемости и улучшения качества работы систем [1, 2].

Режимы постоянной мощности – это режимы, объединенные условиями сохранения постоянной мощности, развиваемой двигателем, при определенном сочетании параметров ее определяющих. К таким параметрам согласно формуле

$$N_e = \epsilon \frac{g_m \cdot n \cdot i}{\tau} \eta_e = \text{Const},$$

- где ϵ – постоянная величина;
 τ – коэффициент тактности;
 g_m – цикловая подача топлива;
 n – частота вращения коленчатого вала;
 i – число цилиндров (или двигателей в энергетическом блоке);
 η_e – эффективный КПД.

Варианты сочетания параметров, используемые в практике получения постоянной мощности: цикловая подача, частота вращения, эффективный КПД; число работающих цилиндров, цикловая подача топлива, эффективный КПД.

Ограничимся рассмотрением первого варианта, реализация которого позволяет обеспечить работу двигателя по скоростной характеристике постоянной мощности. В координатах мощность-частота n характеристики $N_e = \text{Const}$ представляют горизонтальные линии, расположенные в поле возможных режимов работы, ограничиваемые перегрузочной ветвью внешней скоростной характеристики (рисунок 1).

На каждой из этих характеристик, отличающихся уровнем постоянной мощности, режимы работы объединены условием

$$P_e n = \text{Const},$$

в диапазоне изменения частоты n от номинальной n_n до n_m , соответствующей режиму внешней характеристики.

Реализация характеристики $N_e = \text{Const}$ позволяет, начиная с какого-то уровня мощности N_e , получить высокие значения коэффициента приспособляемости

$$K_n = \frac{P_{em}}{P_{en}},$$

где P_{em}, P_{en} – средние эффективные давления при частотах n_m и n_n .

С учетом выражения (1) коэффициент K_n обратно пропорционален отношению частот

$$K_n = \frac{n_n}{n_m} = \frac{1}{K_c},$$

или так называемому скоростному коэффициенту K_c , устанавливающему диапазон уменьшения частоты n , в котором крутящий момент (или P_e) возрастает.

Достижение высоких коэффициентов приспособляемости $K_n \geq 1,4$ характерно для двигателей постоянной мощности (ДПМ) и позволяет повысить производительность машино-тракторных агрегатов, снизить экс-

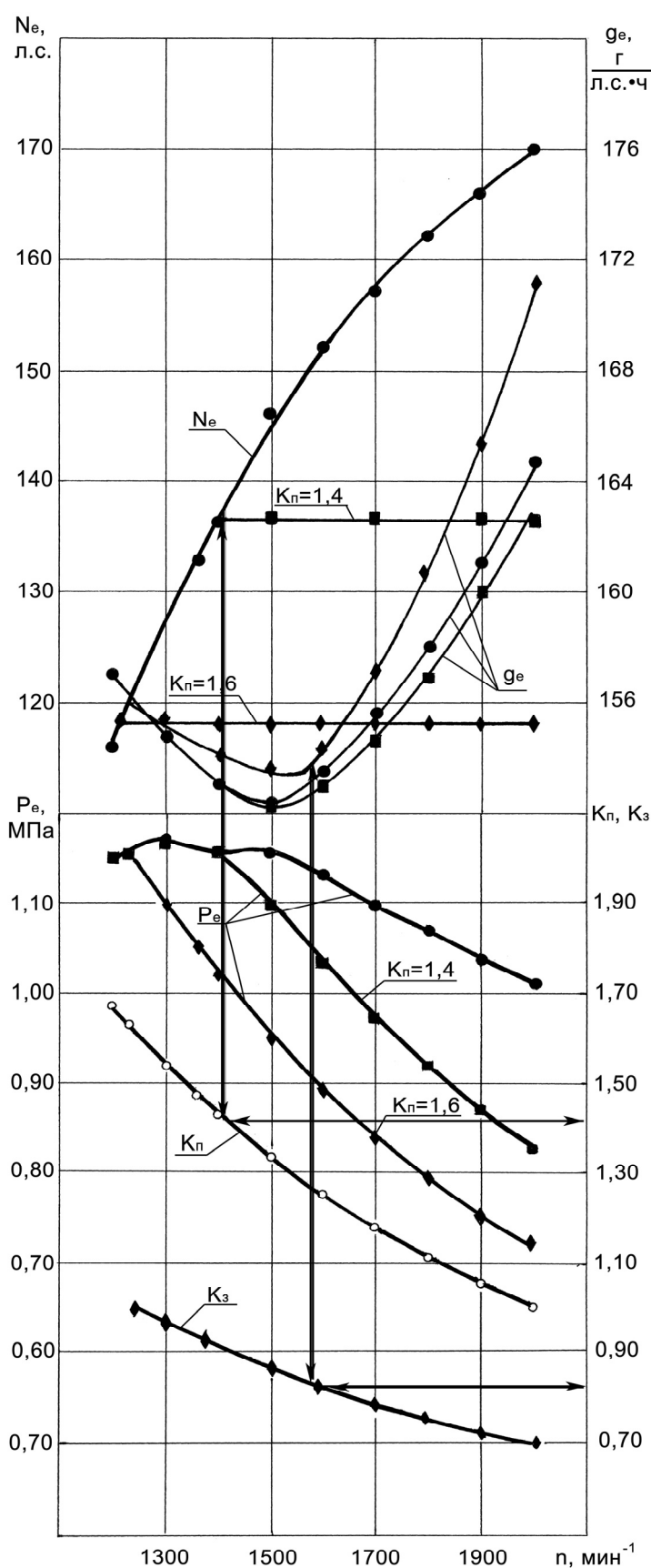


Рисунок 1 – Скоростные характеристики дизеля: —●— внешняя; —■— и —♦— постоянная мощность $P_{e\text{Const}} = 136$ и 118 л.с. с коэффициентом приспособляемости $K_n = 1,4$ и $1,6$

платационный расход топлива при работе двигателя на режимах переменной нагрузки, упростить коробку передач и др. [1].

При исследовании работы двигателя по характеристикам $N_e = \text{Const}$ представляет интерес выяснение следующих вопросов прикладного значения: зависимость коэффициента приспособляемости K_n от уровня заданной постоянной мощности при котором коэффициент K_n достигает значения 1,4; анализ изменения удельного эффективного расхода топлива g_e и определение оптимальной частоты $n_{\text{опт}}$ по минимальному расходу g_e и диапазона мощностей в котором целесообразна настройка частоты на $n_{\text{опт}}$; закономерность изменения расхода топлива (часового или циклового), как управляющего параметра обеспечения $N_e = \text{Const}$, и ее практическая реализация и др.

В рамках данной статьи рассмотрены первые два вопроса, полагая о том, что нам известны внешняя скоростная и нагрузочная (на номинальной частоте) характеристики исследуемого дизеля.

Если внешняя характеристика задана в графическом виде, то в функции частоты n строится кривая коэффициента приспособляемости как отношение n_m/n_n для условия $N_e = \text{Const}$. Находится значение $K_n = 1,4$ и фиксируется соответствующая ему мощность на внешней скоростной характеристике (см. рисунок 1). Она и является тем порогом, ниже которого обеспечивается $K_n > 1,4$, выше $K_n < 1,4$.

При задании внешней характеристики в виде выражения

$$N_e = N_{\text{еном}} \left[\beta \frac{n}{n_n} + \delta \left(\frac{n}{n_n} \right)^2 - \left(\frac{n}{n_{\text{ном}}} \right)^3 \right], \quad (3)$$

с аппроксимационными коэффициентами β и δ , заменим в нем отношение частот через коэффициент приспособляемости K_n . Согласно (2) получим выражение, связывающее мощность N_e по внешней характеристике с коэффициентом K_n

$$N_e = N_{\text{еном}} \left[\beta \frac{1}{K_n} + \delta \left(\frac{1}{K_n} \right)^2 - \left(\frac{1}{K_n} \right)^3 \right]. \quad (4)$$

При известных аппроксимационных коэффициентах и заданном коэффициенте K_n оно может быть решено относительно дроби $N_e/N_{\text{еном}}$.

Воспользуемся значениями коэффициентов β и δ из работы [3], в которой приводятся их численные величины для некоторых среднестатистических характеристик дизелей с непосредственным впрыскиванием, вихрекамерным и предкамерным смесеобразованием и решим уравнение (4) относительно дроби $N_e/N_{\text{еном}}$ при $K_n = 1,4$.

Результаты решения показывают, что для дизелей с названными способами смесеобразования коэффициент приспособляемости $K_n = 1,4$ достигается при работе по характеристике $N_e = \text{Const}$ с уровнем мощности 0,75-0,80 от номинального $N_{\text{еном}}$.

Полученное значение мощности $(0,75...0,80)N_{\text{еном}}$ подтверждено проверкой, выполненной с использованием более современных данных статистической обработки внешней скоростной характеристики дизелей, приведенных в работе [4].

Так как внешние скоростные характеристики, по которым был проведен расчет мощности из условия получения коэффициента приспособляемости $K_n = 1,4$ при работе дизеля по характеристике $N_e = \text{Const}$ являются среднестатистическими, то значение

$$N_e = (0,75...0,80)N_{\text{еном}},$$

можно считать как некоторую обобщенную универсальную величину.

Зависимость эффективного расхода топлива по характеристике $N_e = \text{Const}$ носит сложный характер, обуславливаемый влиянием как изменения нагрузки, так и изменением частоты вращения вала. Подробно анализируется в работе [5].

В данной статье будем рассматривать изменение эффективного расхода топлива при $N_e = \text{Const}$ в сравнении с расходом по внешней скоростной характеристике, преследуя цели выбора оптимальной частоты $n_{\text{опт}}$ по минимуму расхода топлива g_e для различных уровней мощности $N_e = \text{Const}$, установления диапазона $N_e = \text{Const}$, в котором целесообразно осуще-

ствлять настройку частоты n на оптимальное значение, оценки достигаемого потенциально-го эффекта в снижении расхода топлива.

Поиск частоты n_{opt} важен для дизель-генераторных установок (ДГУ), работающих в составе гибридных автономных энергетических комплексов, использующих «всережимный» генератор и преобразователь частоты, а соответственно, и имеющих возможность реализации оптимального скоростного режима ДГУ.

Ключевым в достижении поставленных целей при известных расходах топлива g_e по внешней скоростной характеристике и нагрузочной на номинальной частоте n_H является определение частоты n_{opt} при работе с $N_e = \text{Const}$ и достигаемого при этом значения минимального расхода топлива.

Для расчета n_{opt} сделаем предположение достаточно хорошо подтверждаемое статистикой: минимум расхода топлива g_e для типичного вида нагрузочной характеристики при каждой частоте n соответствует (70-80)% загрузки двигателя [6]. Тогда поиск n_{opt} сводится к определению частоты n в диапазоне $n_H \dots n_M$, для которой при заданном уровне мощности N_{econst} загрузка двигателя будет составлять (70-80)%. Загрузка двигателя определяется отношением N_{econst} к мощности на внешней скоростной характеристике, называемым коэффициентом загрузки K_3 . Для каждого значения N_{econst} коэффициент K_3 изменяется от значения, соответствующего номинальной частоте n_H , до значения, равного единице при $n = n_M$. И чем меньше N_{econst} , тем при меньшей частоте n_M достигается значение $K_3 = 1$ и, соответственно, $K_3 = 0,7-0,8$ и минимум расхода топлива.

Графически поиск оптимальной частоты n_{opt} по минимуму расхода топлива для заданных значений N_{econst} , меньших $(0,7-0,8)N_{eHOM}$, осуществляется так. По известным значениям N_{econst} и мощности на внешней характеристике подсчитываем коэффициент загрузки и строим график (см. рисунок 1) зависимости $K_3 = f(n)$. На графике находим значение коэффициента, принятое постоянным из интервала $K_3 = 0,7-0,8$, например, 0,8, и соответствующую ему частоту n . Она и будет оптимальной по минимуму расхода топлива. Поступая аналогичным образом для других уровней мощности N_{econst} можно построить зависимость оптимальной частоты n_{opt} от значения мощности N_{econst} . Последний и представляет алгоритм управления частотой n_{opt} в зависимости от заданной мощности N_{econst} из условия обеспечения минимума расхода топлива.

При известном аппроксимационном выражении, описывающем зависимость мощности от частоты по внешней скоростной характеристике, например, вида (3) оптимальная частота n_{opt} рассчитывается по формуле, получаемой введением в нее коэффициента загрузки K_3 в результате деления выражения (3) на заданное значение постоянной мощности N_{econst}

$$\frac{1}{K_3} = \frac{N_{eHOM}}{N_{econst}} \left[\beta \frac{n}{n_H} + \delta \left(\frac{n}{n_H} \right)^2 - \left(\frac{n}{n_H} \right)^3 \right]. \quad (5)$$

Формула устанавливает зависимость между относительными значениями загрузки двигателя, постоянной мощности и частотой вращения n .

Принимая в выражении (5) значение коэффициента K_3 неизменным из интервала $K_3 = 0,7-0,8$ для ряда заданных постоянных значений N_{econst}/N_{eHOM} определяем частоту n/n_H . Ее и считаем оптимальной по расходу топлива.

Зависимость оптимальной относительной частоты $n_{opt}/n_H = \bar{n}_{opt}$ от относительной мощности $N_{econst}/N_{eHOM} = \bar{N}_{econst}$, подсчитанная по выражению (5) для коэффициента загрузки $K_3 = 0,8$, представлена на рисунке 2.

График на рисунке 2 отражает принятую концепцию о достижении минимума расхода топлива g_e при коэффициенте загрузки $K_3 = 0,8$ для каждой частоты вращения вала: для относительной мощности двигателя N_{econst} в диапазоне 1,0-0,8 оптимальной является частота $n = n_H$, то есть $\bar{n}_{opt} = 1$; со снижением мощности $\bar{N}_{econst}$ менее 0,8, как и предполагалось, частота $\bar{n}_{opt}$ уменьшается. Данную зависимость можно рекомендовать к использованию при

выборе исходного алгоритма управления двигателем по минимуму расхода топлива в режиме постоянной мощности.

Задача определения достоверной величины минимального расхода топлива (эффективного g_e или часового) при частоте n_{opt} в режиме N_{econst} достаточно сложная. Предлагается примерное определение, базирующееся на знании эффективного расхода топлива по внешней скоростной характеристике и введении уточняющего коэффициента $K_m = 0,96-0,98$.

Коэффициент $K_m < 1$, учитывает то, что при частоте n_{opt} расход g_{emin} меньше, чем расход g_e по внешней характеристике, так как соответствует более экономичному режиму загрузки $K_s = 0,7-0,8$ в сравнении с менее экономичным режимом полной загрузки $K_s = 1$ по внешней характеристике.

При принятом подходе определение g_{emin} сводится к такой последовательности действий. По заданному значению мощности $N_e = Const$ устанавливается оптимальная частота n_{opt} и фиксируется соответствующее ей значение расхода g_e по внешней характеристике. Последнее умножается на уточняющий коэффициент K_m и принимается за минимальный расход g_{emin} по характеристике $N_e = Const$.

Подобная последовательность действий выполняется для каждого значения мощности N_{econst} из принятого ряда ее величин в диапазоне $N_{eном} - N_{emin}$. В результате получим зависимость расхода топлива g_{emin} от значения мощности N_{econst} .

Получение зависимости $g_{emin} = f(N_{econst})$ позволяет оценить достигнутый эффект экономии топлива сравнением расходов топлива по зависимости $g_{emin} = f(N_{econst})$ и нагрузочной характеристике $g_{eH} = f(N_e)$ на номинальной частоте при равных значениях эффективной мощности. Сравнение можно осуществлять или по разности расходов $g_{eH} - g_{emin}$ или по их отношению

$$\frac{g_{emin}}{g_{eH}} = \bar{g}_{emin}.$$

Заметим, что изменение и разности, и отношения в большей степени определяется существенным изменением g_{eH} в сравнении с более стабильной величиной g_{emin} .

Зависимость расхода $\bar{g}_{emin}$ от мощности $\bar{N}_{econst}$ приведена на рисунке 2. Она иллюстрирует увеличение эффекта снижения расхода топлива по мере уменьшения значения мощности. Это снижение, в диапазоне изменения $\bar{N}_{econst}$ от 1,00 до 0,35 соответственно, возрастает от 0 до 14%. Последнее является убедительным аргументом, подтверждающим целесообразность оптимизации частоты вращения вала в зависимости от величины заданной мощности.

Для дизелей, эксплуатируемых в условиях переменной нагрузки по характеристике постоянной мощности в широком диапазоне изменения частоты вращения коленчатого вала, важно достичь не только высоких значений коэффициента приспособляемости, но и обеспечить пологость характеристики расхода топлива $g_{econst} = f(n)$ при приемлемых его значениях. Вид характеристики $g_{econst} = f(n)$ определяется значением мощности N_{econst} или $\bar{N}_{econst}$ и соответственно коэффициентом приспособляемости как функций N_{econst} .

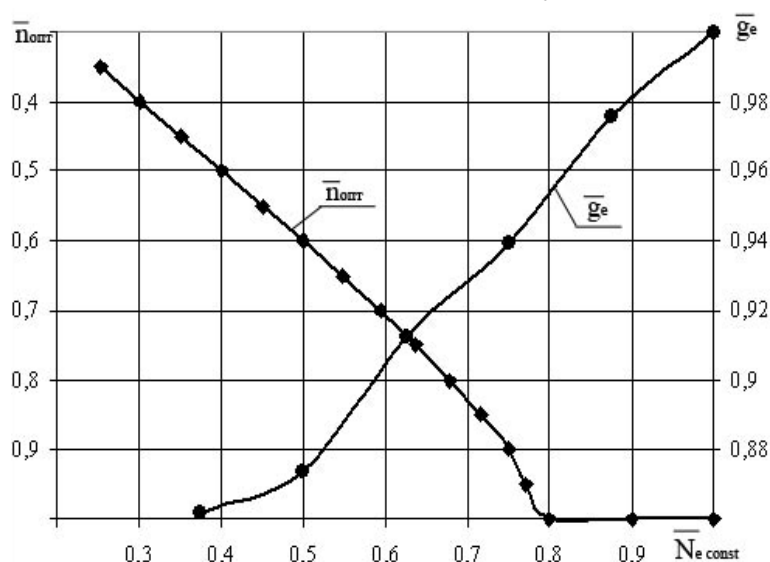


Рисунок 2 – Зависимости оптимальной частоты n_{opt} и потенциального снижения расхода топлива от мощности $\bar{N}_{econst}$

Условно, по влиянию мощности N_{econst} на расход g_e , можно различать два интервала мощности N_{econst} . Первый – от $N_{eном}$ до $(0,75-0,80)N_{eном}$, второй – при значениях N_{econst} менее $(0,75-0,80)$ от $N_{eном}$.

В первом интервале характеристика $g_{econst} = f(n)$ достаточно полагая, что обеспечивается близкими значениями расходов g_{econst} на режимах с частотой n_H, n_M, n_{omm} . По абсолютной величине значения g_{econst} могут быть меньше или достаточно близкими к g_e по внешней характеристике. Причина в том, что по характеристике загрузка двигателя с $K_s = 0,8-1,0$ в интервале частот $n_H \dots n_M$ является более оптимальной по расходу топлива в сравнении с полной загрузкой ($K_s = 1$) по внешней характеристике (для всех скоростных режимов). Выше было показано, что с уменьшением $\bar{N}_{econst}$ коэффициент приспособляемости возрастает и для $\bar{N}_{econst} = 0,75-0,80$ от $N_{eном}$ достигает желаемой величины $K_n = 1,4$.

Во втором интервале мощностей $\bar{N}_{econst} < (0,75-0,80)$ вид зависимости $g_{econst} = f(n)$ существенно изменяется: минимум расхода топлива сдвигается в область пониженных частот, расход $g_{econst} = f(n)$ существенно возрастает в сравнении с внешней характеристикой $g_e = f(n)$ в значительном диапазоне снижения частоты, начиная с $n = n_H$. Основная причина – малая частичная загрузка двигателя на этих частотах. Коэффициент приспособляемости возрастает, его величина превосходит 1,4. Однако, неудовлетворительное изменение расхода топлива $g_{econst} = f(n)$ позволяет считать нецелесообразным реализацию характеристик постоянной мощности с уровнем мощности менее 0,7 от $N_{eном}$.

Более предпочтительной для созданных двигателей является характеристика постоянной мощности с уровнем $(0,75-0,80)N_{eном}$, у которой коэффициент приспособляемости $K_n = 1,4$ и обеспечивается пологость характеристики по расходу топлива при значениях расхода g_e достаточно близких или даже меньших, чем по внешней характеристике. Ее предпочтение обуславливается и относительно невысоким уровнем модернизации двигателя, сводимым к корректировке топливоподачи и некоторых мероприятий по оптимизации рабочего процесса на режимах пониженных частот.

Сказанное безусловно не противоречит стремлению создания двигателя, работающего в режиме постоянной мощности и при более высоких ее значениях, вплоть до номинальной. Однако, чем выше мощность N_{econst} , тем более серьезной модернизации подлежит двигатель и не только система топливоподачи, но и система воздухообеспечения, то есть система наддува двигателя для получения коэффициента приспособляемости $K_n \geq 1,4$.

Именно необходимая степень модернизации двигателя и обозначила два направления в реализации возможности работы двигателя по характеристике постоянной мощности. Первое – с относительно невысокой степенью модернизации, предусматривает создание на базе выпускаемого двигателя аналога с двумя уровнями мощности. На одном, более высоком уровне, двигатель работает как обычный традиционный, с невысоким коэффициентом приспособляемости по внешней скоростной характеристике. На другом, более низком – по скоростной характеристике постоянной мощности.

Второе – с высоким уровнем модернизации, основанном на использовании регулируемого наддува, однако позволяет обеспечить постоянную мощность равную номинальной.

В практике отечественного дизелестроения задача создания двухуровневого двигателя успешно решена на ОАО «ПО «Алтайский моторный завод» для 4-х и 6-цилиндровых дизелей размерностью 130/140 сельскохозяйственного и промышленного назначения. На рисунке 3 представлена типовая скоростная характеристика дизеля с двумя уровнями мощности при номинальной частоте $n_H = 1750 \text{ мин}^{-1}$. Первый уровень с мощностью 106,6 кВт и второй – 91,9 кВт, что составляет 86% от величины первого уровня. Переход с одного уровня мощности на другой обеспечивается устройствами управления топливоподачей дизеля.

Из графиков на рисунке 3 видно, что мощность в 91,9 кВт удается поддерживать примерно постоянной в диапазоне частот от 1750 мин^{-1} до $1200-1300 \text{ мин}^{-1}$ и тем самым обеспечить более интенсивный рост крутящего момента и достичь значения коэффициента приспособляемости $K_n = 1,4$ (против 1,15 с мощностью 106,6 кВт). При этом характер изменения

кривых эффективного и часового расходов топлива весьма пологий. Значения расхода топлива g_e достаточно близки для обоих уровней мощности.

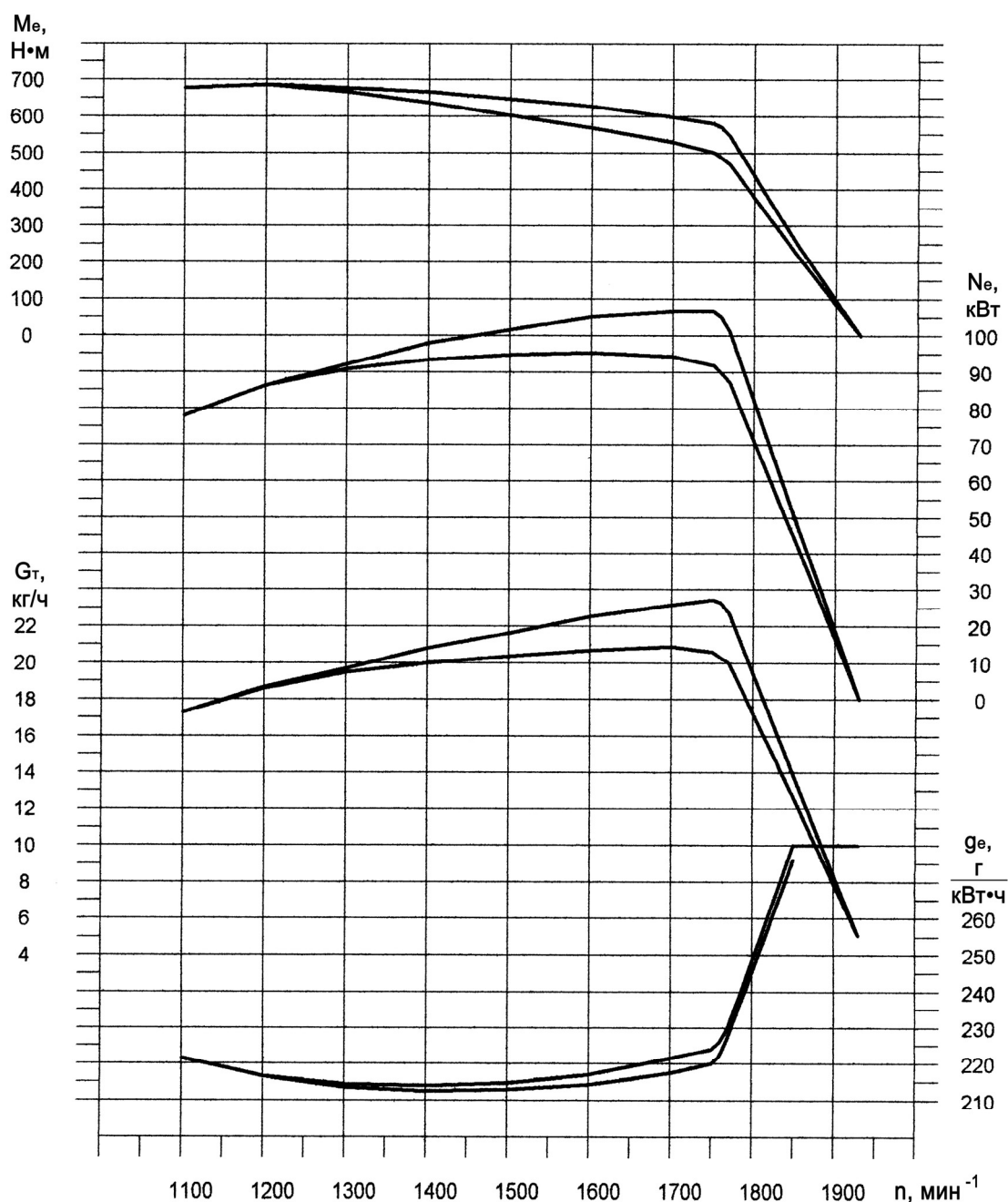


Рисунок 3 – Типовая скоростная характеристика дизелей Д-442

Подводя итог выполненной работы, можно утверждать, что внешняя скоростная характеристика дизеля, заданная графически или в виде аппроксимационных зависимостей, может быть успешно использована для анализа показателей работы на режимах постоянной мощности с целью:

- установления зависимости коэффициента приспособляемости K_n от частоты вращения вала и определения значения мощности, при котором коэффициент $K_n = 1,4$;
- выявления оптимальной частоты n_{opt} , при которой достигается минимум расхода топлива и построения ее зависимости от заданного значения мощности N_{eConst} ;
- проведения анализа изменения эффективного расхода топлива по частоте n с использованием нагрузочной характеристики номинального скоростного режима и на основании его установления достигаемого потенциального эффекта в снижении расхода топлива и определения диапазона мощностей, в котором работа двигателя по характеристике постоянной мощности будет осуществляться без ухудшения топливной экономичности.

Практический интерес могут представлять следующие обобщенные выводы:

- наиболее просто, без больших переделок двигателя, в основном корректировкой топливоподачи можно реализовать характеристику постоянной мощности с уровнем $N_{e\text{Const}} = (0,75...0,80)N_{e\text{НОМ}}$, коэффициентом приспособляемости $K_n = 1,4$ и хорошими показателями по эффективному расходу топлива;
- дальнейшее увеличение мощности $N_{e\text{Const}} = (0,75...0,80)N_{e\text{НОМ}}$ и сохранение коэффициента $K_n \geq 1,4$ связано с возрастанием объема необходимых изменений, вносимых не только в систему топливоподачи, но и в систему воздухообеспечения;
- характеристики $N_e = \text{Const}$ с уровнем мощности менее $(0,75...0,80)N_{e\text{НОМ}}$ нецелесообразны по причине увеличения эффективного расхода топлива;
- для уровня мощностей $N_{e\text{Const}} < 0,75N_{e\text{НОМ}}$ можно достичь заметной экономии топлива оптимизацией скоростного режима, используя предложенные зависимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Тягово-динамические качества сельскохозяйственных тракторов с двигателями постоянной мощности / ЦНИИТЭИтракторсельхозмаш. Сер. Тракторы, самоходные шасси и двигатели, агрегаты и узлы. -М., 1980. -Вып.11. -40 с.
 - 2 Алешков, О.А. Повышение топливной экономичности многофункционального энерго-технологического комплекса оптимизацией скоростного режима первичного дизельного двигателя в его составе / О.А. Алешков, А.А. Малоземов // Ползунов. вестн. -2009. -№ 1/2. -С. 199-209.
 - 3 Быстроходные поршневые двигатели внутреннего сгорания /Н.Х. Дьяченко, С.Н. Райков, В.С. Мусатов, П.М. Белов, Ю.И. Будыко; под ред. Н.Х. Дьяченко. -М.; Л.: Машиностроение, 1962. -359 с.
 - 4 Шароглазов, Б.А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов / Б.А. Шароглазов, В.В. Клементьев; под ред. Б.А. Шароглазова. -Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. -382 с.
 - 5 Матиевский, Г.Д. Анализ показателей работы дизеля по характеристике постоянной мощности / Г.Д. Матиевский, С.П. Кулманаков // Ползунов. вестн. -2010. -№1. -С. 13-20.
 - 6 Двигатели внутреннего сгорания: теория рабочих процессов: учеб. для вузов / В.Н. Луканин [и др]; под ред. В.Н. Луканина. -М.: Высш. шк., 2005. -479 с.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** дизель, скоростная характеристика, постоянная мощность, экономичность, приспособляемость, расход топлива
- СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Матиевский Герман Дмитриевич, инженер ГОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
Любимов Алексей Николаевич, ведущий конструктор ОАО «ПО АМЗ»
- ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ГОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
656023, г. Барнаул, пр. Космонавтов, 8, ОАО «ПО АМЗ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ГИПОТЕЗЫ О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТИЦ САЖИ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЯ ЧЕРЕЗ АЦЕТИЛЕН

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.П. Андрющенко, В.В. Попков, С.В. Титов, Г.С. Юр

EXPERIMENTAL CONFIRMATION OF THE HYPOTHESIS ABOUT THE MECHANISM OF SOOT PARTICLES IN THE COMBUSTION CHAMBER ENGINE THROUGH ACETYLENE
«Novosibirsk state academy of water transport»
S.P. Andryushchenko, V.V. Popkov, S.V. Titov, G.S. Yur

The results of experimental research have confirmed the hypothesis about the predominant influence of acetylene on the formation of soot particles in diesel engine cylinder.

Keywords: diesel engine, soot, acetylene, emulsion

В результате выполненных экспериментальных исследований подтверждена гипотеза о преобладающем влиянии ацетилена на процесс образования частиц сажи в цилиндре дизеля.

В настоящее время существуют различные представления о механизме образования сажи в условиях камеры сгорания [1-5]. Наибольшее признание получила гипотеза о преобладающем влиянии на этот процесс ацетилена. Подтверждением этой гипотезы являются известные технологии промышленного получения сажи для лакокрасочной, резинотехнической и других отраслей, в которых исходным сырьем является ацетилен.

В работе [6] было показано, что при значениях давления и температуры соответствующих значениям в камерах сгорания дизеля, наряду с процессами испарения распыленного топлива имеет место процессы его газификации, в результате которых одним из компонентов газовой смеси является ацетилен. Опыты проводились в бомбе высокого давления в невозмущенной нагретой газовой среде. Однако это не в полной мере соответствует действительности.

Для более полного изучения явлений сопровождающих процессы смесеобразования в условиях камер сгорания реального дизеля в лаборатории СДВС НГАВТ была создана специальная экспериментальная установка.

Одноцилиндровый отсек дизеля Ч15/18 был снабжен дополнительной камерой сгорания (предкамерой) и вторым топливным насосом высокого давления с форсункой.

Сначала осуществлялся впрыск дизельного топлива в предкамеру, где оно полностью сгорало при коэффициенте избытка воздуха близким к единице. Затем при помощи второго ТНВД в разогретую продуктами сгорания возмущенную среду впрыскивалось исследуемая порция топлива. При отсутствии в основной камере сгорания кислорода распыленное в ней исследуемое топливо испарялось и газифицировалось.

Полученная в цилиндре газовая смесь отбиралась в специальные прозрачные емкости, и направлялись в сертифицированную химическую лабораторию на хроматографический анализ.

В таблице приведены результаты анализа проб газовой смеси полученной из дизельного топлива и эмульсии «дизельное топливо+вода» с содержанием воды 20%. Для повышения агрегативной устойчивости эмульсии в дизельное топливо добавлялось 5% мазута.

Значения концентраций химических компонентов приведены в объемных процентах.

Измерения содержания кислорода, водорода, оксидов азота и углерода не проводились.

Из приведенных в таблице сведений видно, что концентрация ацетилена в газовой смеси, полученной из эмульсии «дизельное топливо+вода» в 3,8 раза меньше, чем при использовании необводненного дизельного топлива.

С другой стороны известно, что при работе судовых дизелей на ВТЭ дымность отработавших газов также в 3-4 раза меньше, чем при работе на безводном топливе [7].

Приведенные данные по количественному соотношению уменьшения концентрации ацетилена и дымности отработавших газов при использовании ВТЭ подтверждают гипотезу, в которой утверждается, что исходным продуктом в процессе образования твердого углерода в камерах сгорания дизелей является ацетилен.

Таблица – Результаты хроматографического анализа проб газовой смеси

Наименование компонентов	Эмульсия «дизельное топливо + вода»	Дизельное топливо
Метан	0,685540	1,374147
Этан	0,056344	0,089664
Этилен	0,571862	1,463459
Пропан	0,005463	0,010266
Пропилен	0,124601	0,268727
Бутаны	0,005755	0,014539
Ацетилен	0,088519	0,337981
Бутены	0,036173	0,070242
Пентаны	0,028158	0,063574
Гексаны	0,020020	0,051744

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Звонов, В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В.А. Звонов. -М.: Машиностроение, 1981. -160 с.
- 2 Войнов, А.Н. Процессы сгорания в быстроходных поршневых двигателях / А.Н. Войнов. -М.: Машиностроение, 1977. -277 с.
- 3 Гейдон, А. Спектроскопия пламени / А. Гейдон. -М.: Иностран. лит., 1959. -382 с.
- 4 Теснер, П.А. Образование углерода из углеводородов газовой фазы / П.А. Теснер. -М.: Химия, 1972. -136 с.

5 Broome, D. The Mechanisms of soot release from combustion of hydrocarbon fuels with particular reference to the diesel engines / D. Broome, I.M. Khan // Conference on Air Pollution Control in Transport Engines, Nov. 1971. -London, 1971. -P. 140.

6 Лебедев, О.Н. Новые сведения о явлениях сопровождающих процессы смесеобразования и сгорания в дизелях / О.Н. Лебедев, Г.С. Юр // Ползунов. вестн. -2003. -№1/2. -С. 49-52.

7 Совершенствование технической эксплуатации судовых дизельных энергетических установок / О.Н. Лебедев, С.А. Калашников, Л.А. Шеромов, В.Д. Сисин. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. ин-та инженеров вод. трансп., 1993. -356 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизель, частицы сажи, ацетилен, эмульсия

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Андриященко Сергей Петрович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Попков Владимир Владимирович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Титов Сергей Владиленович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Юр Геннадий Сергеевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ С КАМЕРОЙ СОДЕРЖАЩЕЙ ГАЗОСТРУЙНЫЙ ГЕНЕРАТОР ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ РАБОТЕ НА МАЗУТЕ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.Д. Шмаков, С.В. Титов, Г.С. Юр

RESULTS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE ENGINE WITH A COMBUSTION CHAMBER GAS GENERATOR CONTAINING GAS – DYNAMIC VIBRATION AT WORK ON BLACK – MINERAL OIL

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.D. Shmakov, S.V. Titov, G.S. Yur

Experimental studies carry out in the laboratory SDVS NSAWT showed that a very effective way of destroying coke residue is the process of steam acoustic cavitation. To do this in the combustion chamber of diesel it is necessary to create powerful gas-dynamic fluctuations with a greater amplitude to overcome the cavitation threshold.

Keywords: diesel engine, gas-dynamic fluctuation, cavitation, economic and environmental performance

Экспериментальные исследования, выполненные в лаборатории СДВС НГАВТ показали, что весьма эффективным способом разрушения коксового остатка является процесс паровой акустической кавитации. Для этого в камере сгорания дизеля необходимо создать мощные газодинамические колебания с амплитудой превышающей значения необходимые для преодоления кавитационного порога.

Одним из основных направлений развития судового двигателестроения является решение задачи обеспечения надежной и экологически безопасной работы среднеоборотных СДЭУ на низкосортных топливах вязкостью до 730 сСт при 50 °С [1]. Эти топлива значительно дешевле дистиллятных и их использование может принести существенную прибыль.

Среди проблем препятствующих широкому использованию тяжелых топлив является интенсивное саже и нагарообразование, что в значительной степени ухудшает экономические, экологические и ресурсные показатели дизеля. Установлено, что время сгорания капли мазута в 1,6 раза больше времени сгорания капли дизельного топлива одинакового размера. Причиной этого является повышенное содержание в тяжелых топливах асфальтосмолистых содинений (асфальтенов, карбенов, карбоидов). В мазуте их содержание может составлять до 20%. При температуре выше 300 °С эти высокомолекулярные соединения образуют коксовый остаток, масса которого может достигать 60% массы исходного продукта. Время выгорания коксового остатка составляет до 40% времени сгорания капли мазута, а скорость горения на порядок ниже скорости горения жидкого топлива [2, 3]. В результате, в среднеоборотных и быстроходных дизелях, имеет место неполное и несвоевременное сгорание топлива, вследствие чего увеличивается дымность отработавших газов, наблюдается интенсивное изнашивание деталей ЦПГ и прогар выпускных клапанов [4-6]. С повышением частоты вращения коленчатого вала влияние перечисленных отрицательных факторов усиливается.

Испытания среднеоборотных судовых дизелей 8ЧРН24/36 и 8ЧРН32/48 на мазуте показали, что в сравнении с работой на дизельном топливе, эффективный расход топлива увеличился на 4-7% при работе на номинальном режиме и до 22% на долевых нагрузках. На всех режимах наблюдалось повышение дымности отработавших газов [5]. Подобные результаты получены при испытаниях судовых дизелей другого размерного ряда [7, 8].

Экспериментальные исследования, выполненные в лаборатории СДВС НГАВТ показали, что весьма эффективным способом разрушения коксового остатка является процесс паровой акустической кавитации [9]. Для этого в камере сгорания дизеля необходимо создать мощные газодинамические колебания с амплитудой превышающей значения необходимые для преодоления кавитационного порога.

Целью настоящей работы является исследование рабочего процесса дизеля повышенной оборотности с камерой сгорания содержащей устройство генерирующее мощные газодинамические колебания при работе на мазуте. Для этого на базе отсека отечественного дизеля Ч15/18 была спроектирована и изготовлена специальная экспериментальная установка.

На рисунке 1 приведена принципиальная схема установки.

Отсек дизеля 1 с камерой сгорания содержащей газоструйный генератор, нагружался при помощи электрической балансирующей машины 2. Крутящий момент определялся при помощи стрелочных весов 3. Частота вращения коленчатого вала контролировалась стробоскопическим тахометром 4. Расход воздуха измерялся при помощи насадки со свободным входом, ресивера 5 и дифференциального манометра 6.

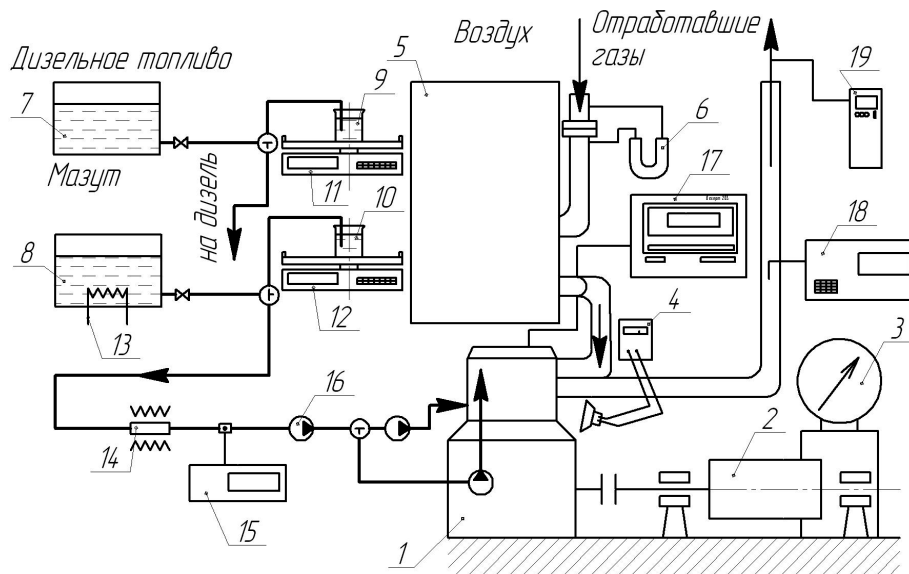


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Испытания проводились на дизельном топливе и мазуте 40 по регулировочным, винтовым и нагрузочным характеристикам.

Двухтопливная система включала расходные баки 7 и 8, мерные емкости 9 и 10 установленные на весах 11 и 12. Система, снабжающая дизель мазутом дополнительно была оборудована электрическими подогревателями 13 и 14, потенциометром 15 и топливоподкачивающим насосом 16. Мазут, с целью снижения вязкости, перед подачей в установку подогревался до температуры 85-90 °С.

Утечное топливо собиралось в специальную емкость, взвешивалось и учитывалось при проведении расчетов.

Рабочий процесс осуществлялся в следующей последовательности. Сначала, при помощи штатного ТНВД и двух боковых форсунок в цилиндр впрыскивалась основная порция топлива, составляющая 90-95% цикловой подачи. Затем при помощи второго ТНВД и третьей топливной форсунки в предкамеру расположенную в крышке цилиндра подавалось оставшееся (5-10% цикловой подачи) топливо. Парогазовая смесь, перетекая из предкамеры в основную камеру сгорания, при помощи резонатора размещенного в поршне, возбуждала в цилиндре мощные газодинамические колебания.

Давление в цилиндре дизеля по углу поворота коленчатого вала измерялось прибором «Декарт» 17 конструкции НГАВТ, который получал сигнал от охлаждаемого проточной водой пьезокварцевого датчика. Тарировка датчика выполнялась на стенде «Орион» с использованием образцового манометра классом точности 1,0 прошедшего плановую метрологическую поверку. Наряду с этим, при помощи манометра дополнительно контролировалось максимальное давление сгорания.

Концентрация нормируемых газообразных загрязняющих веществ, содержащихся в от-

работавших газах, измерялась газоанализатором 18.

Дымность отработавших газов определялась при помощи дымомера 19, а шум излучаемый дизелем измерителем шума и вибрации ВШВ-003 с использованием измерительного микрофона М-101 (на рисунке 1 не показаны).

На рисунке 2 приведены нагрузочные характеристики, полученные на опытной установке при частоте вращения коленчатого вала равной 1000 мин⁻¹.

Как видно из представленных графиков, увеличение удельного расхода топлива на работу газоструйного излучателя газодинамических колебаний составило 3-5% на долевых нагрузках и на 7% на номинальной нагрузке. При этом температура отработавших газов снизилась на 10 °С, максимальное давление сгорания на 0,1 МПа, объемная концентрация оксидов азота уменьшилась с 198 до 153 ppm, а дымность в 2 раза. Расхождение всех остальных параметров находилось в пределах ошибки измерений.

В связи с тем, что генеральным направлением развития двигателестроения является выполнение все более ужесточающихся экологических требований, даже в ущерб экономичности, то полученные результаты можно считать вполне удовлетворительными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Конкс, Г.А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта / Г.А. Конкс, В.А. Лашко. -М.: Машиностроение, 2005. - 512 с.

2 Жарков, Б.Л. Результаты экспериментального исследования процесса сгорания одиночных капель тяжелых топлив / Б.Л. Жарков // Перевод котельных установок и производственных печей на газ и жидкое топливо. -М., 1961. -С. 63-69.

3 Chaedhury, P.R. Analysis of fuel spray subjected to coupled evaporation and decomposition / P.R. Chaedhury, M. Cerstein // 19 tm. Symposium (International) Combust., Haifa, 8-13 Aug., 1982. -Pittsburg, 1982. -P. 993-997.

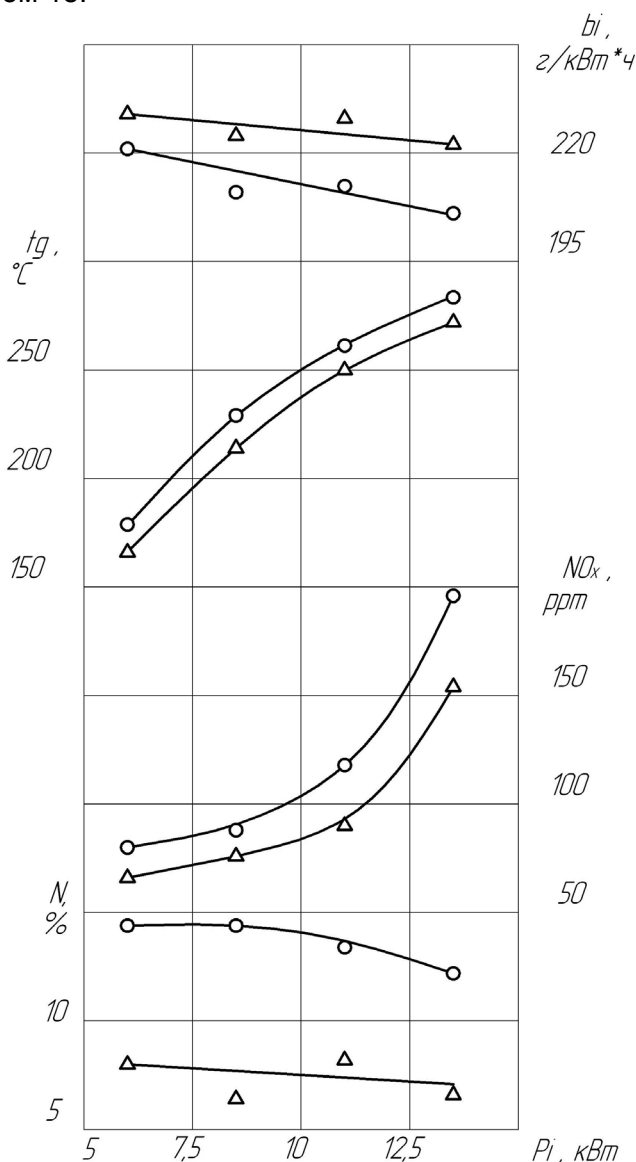
4 Семенов, Б.Н. Особенности рабочего процесса двигателя 2Ч26/34 при работе на мазутах / Б.Н. Семенов, А.А. Школьный // Двигателестроение. -1982. -№4. -С. 4-6.

5 Цикулин, В.А. Использование вязких топлив в дизелях судов флота рыбной промышленности / В.А. Цикулин, О.С. Можаяев. -М.: Агропромиздат, 1986. -77 с.

6 Большаков, В.Ф. Эксплуатация судовых среднеоборотных дизелей / В.Ф. Большаков, Ю.Я. Фомин. -М.: Транспорт, 1983. -178 с.

7 Работа дизеля на газотурбинном топливе / Ю.Я. Фомин, В.М. Маклин, Е.Н. Олевинский, Э.М. Половинка // Реч. трансп. -1971. -№6. -С. 39-40.

8 Топливо и топливные системы судовых дизелей / Ю.А. Пахомов, Ю.П. Коробков, Д.В. Дмитриевский, Г. Васильев. -Л.: М.: РосКонсульт, 2004. -496 с.



○ – с отключенным генератором газодинамических колебаний;
 ▲ – с работающим генератором.

Здесь: b_i – удельный индикаторный расход топлива;
 t_g – температура отработавших газов;
 NO_x – оксиды азота;
 N – дымность по шкале Hartridge.

Рисунок 2 – Нагрузочные характеристики

9 Явление разрушения твердой частицы в процессе паровой акустической кавитации / В.В. Коновалов, О.Ф. Науменко, В.Д. Шмаков, Г.С. Юр // Дизельные энергетические установки речных судов: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -2009. -С. 11-16.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизель, мазут, газодинамические колебания, кавитация, экономические и экологические показатели

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шмаков Василий Дмитриевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Титов Сергей Владиленович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Юр Геннадий Сергеевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЯДРА СЕЧЕНИЯ В ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ВИДЕ ДЛЯ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕРЖНЯ С ДУГОЙ ОКРУЖНОСТИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Н.С. Инкижинов

DETERMINING THE ORIGIN CORE SECTION IN A PARAMETRIC FORM FOR THE CROSS SECTION BAR WITH A CIRCULAR ARC

«Novosibirsk state academy of water transport»
N.S. Inkizhinov

This article describes the removal of the formulas for the coordinates of the core section, if a section of the rod has a circular arc, which allows us to apply an analytical method instead of the graphic.

Keywords: nucleus cross section, coordinates cross-section of the rod, the parametric form of the equation, the analytical method, graphical method

Получены формулы для координат ядра сечения, если сечение стержня имеет дугу окружности, что позволяет применить аналитический метод взамен графического.

Как известно из курса сопротивления материалов [1-3], ядро сечения строится по координатам:

$$u_{я} = -i_v^2/a_u; \quad (1)$$

$$v_{я} = -i_u^2/a_v, \quad (2)$$

где i_v^2, i_u^2 – квадраты радиусов инерции поперечного сечения стержня;

a_u, a_v – отрезки главных центральных осей координат u, v , отсекаемых касательной к поперечному сечению.

Также известно, что если поперечное сечение ограничено прямыми линиями, то нейтральные линии касаются либо этих прямых, либо двух соседних угловых точек, при этом число касательных вполне определено. А если сечение имеет криволинейную форму, то для получения более точного очертания ядра сечения нужно проводить касательные с более мелким угловым шагом, что создает определенные неудобства. В связи с этим предлагается способ построения ядра сечения без использования касательных для частного случая, когда часть поперечного сечения имеет форму окружности. Цель данной работы – использование аналитического метода взамен громоздкого графического, что позволяет применять компьютер.

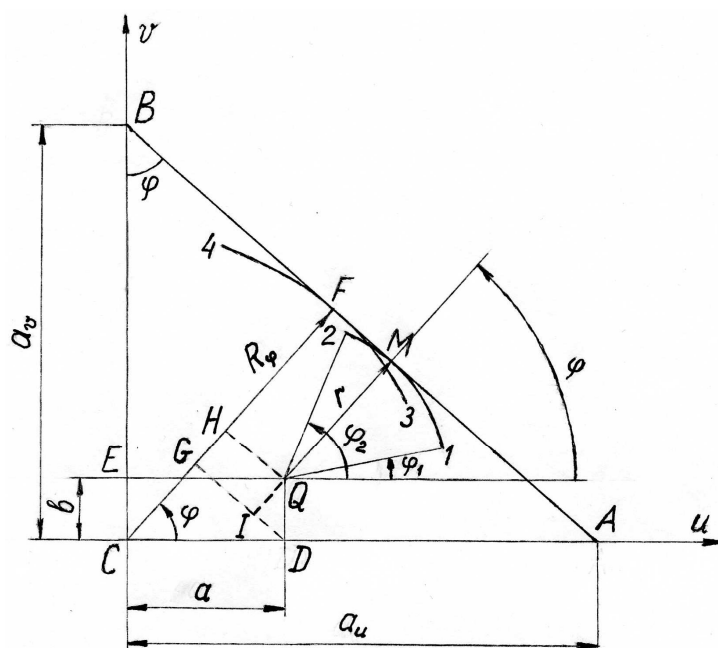


Рисунок – Дуга 1-2 окружности с касательной АВ

На рисунке изображена дуга 1-2 окружности с центром Q и радиусом r . Координатами центра Q в главных центральных осях u, v являются отрезки a, b . Проведем к этой дуге 1-2 касательную AB через произвольную точку M касания. Угол между осью u и радиусом QM равен ϕ и меняется от ϕ_1 до ϕ_2 . Рассмотрим перпендикуляр CF к касательной AB , являющийся радиусом R_ϕ дуги 3-4 окружности с центром в начале C координат u, v . Так как дуги 1-2 и 3-4 касаются общей прямой AB , то их радиусы r и R_ϕ параллельны между собой. Отрезки a_u и a_v являются гипотенузами в двух прямоугольных треугольниках CAF и CBF с общим катетом CF , равным R_ϕ ; отсюда

$$a_u = CA = \frac{CF}{\cos \phi} = \frac{R_\phi}{\cos \phi}; \quad (3)$$

$$a_v = CB = \frac{CF}{\sin \phi} = \frac{R_\phi}{\sin \phi}. \quad (4)$$

Найдём теперь отрезок CF . Он состоит из трех отрезков: CG, GH и HF . Углы CGD и CHQ прямые. Тогда

$$CG = CD \cdot \cos \phi = a \cdot \cos \phi; GH = IQ = DQ \cdot \sin \phi = b \cdot \sin \phi; HF = QM = r.$$

Следовательно,

$$CF = CG + GH + HF = a \cdot \cos \phi + b \cdot \sin \phi + r.$$

Итак, получили

$$R_\phi = a \cdot \cos \phi + b \cdot \sin \phi + r. \quad (5)$$

С учетом формулы (5) отрезки a_u и a_v , вычисляемые по формулам (3), (4), примут вид:

$$a_u = \frac{a \cos \phi + b \sin \phi + r}{\cos \phi}; \quad (6)$$

$$a_v = \frac{a \cos \phi + b \sin \phi + r}{\sin \phi}. \quad (7)$$

Наконец, используя формулы (1), (2) и (6), (7), получим координаты ядра сечения:

$$u_\pi = -\frac{i_v^2 \cdot \cos \phi}{a \cos \phi + b \sin \phi + r}; \quad (8)$$

$$v_\pi = -\frac{i_u^2 \cdot \sin \phi}{a \cos \phi + b \sin \phi + r}. \quad (9)$$

Полученные формулы (8), (9), выражающие координаты ядра сечения, представлены в параметрическом виде, где параметром является угол ϕ .

Следует отметить, что величина R_ϕ является положительной, так как начало C главных осей u, v координат и центр Q дуги 1-2 окружности расположены всегда по одну сторону от касательной AB и, следовательно, направления радиусов R_ϕ и r совпадают. Также, если одновременно будут равняться нулю R_ϕ , $\sin \phi$ или $\cos \phi$, то как видно из формул (5), (8) и (9), координаты a_u и a_v ядра сечения будут иметь неопределенную величину в то время, как при внецентренном растяжении-сжатии эти координаты всегда имеют определенную величину.

Таким образом, R_ϕ может иметь только положительные значения или, в математической записи, $R_\phi = (0, c]$, где c - конечная величина.

Выражая абсолютные координаты a, b через относительные α, β с помощью равенств $a = \alpha \cdot r$, $b = \beta \cdot r$ и подставляя их в формулы (8), (9) получим их измененный вид в форме (10), (11):

$$u_\pi = -\frac{i_v^2}{r} \cdot \frac{\cos \phi}{\alpha \cos \phi + \beta \sin \phi + 1}; \quad (10)$$

$$v_\pi = -\frac{i_u^2}{r} \cdot \frac{\sin \phi}{\alpha \cos \phi + \beta \sin \phi + 1}. \quad (11)$$

Таким образом, формулы (8), (9) или (10), (11) позволяют рассчитывать координаты ядра сечения аналитическим способом вместо графического, а при использовании компьютера значительно упрощают построение ядра сечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Беляев, Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. -М.: Физматлит, 1976. -608 с.
 - 2 Старовойтов, Э.И. Сопротивление материалов / Э.И. Старовойтов. -М.: Физматлит, 2008. -384 с.
 - 3 Филин, А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела / А.П. Филин. -М.: Наука, 1978. -616 с.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ядро сечения, координаты, поперечное сечение стержня, параметрический вид формулы, аналитический метод, графический метод
- СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Инкижинов Николай Сергеевич, старший преподаватель ФГОУ ВПО «НГавт»
- ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ОДНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

О.Г. Куделин, В.И. Фомин

CALCULATION OF A LIMIT OF ONE SEQUENCE
 «Novosibirsk state academy of water transport»
 O.G. Kudelin, V.I. Fomin

The scheme of calculation of a limit of one sequence which leads to its interesting analytical result is offered.

Keywords: numerical sequence, limit

Предложена схема вычисления предела одной последовательности, которая приводит его к интересному аналитическому результату.

Рассмотрим числовую последовательность

$$I_n = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sin n\varphi}{\sin \varphi} d\varphi; n \in N, \quad (1)$$

и найдём её предел.

Используем тождество [1]

$$\sin n\varphi - \sin(n-2)\varphi = 2\sin\varphi \cos(n-1)\varphi. \quad (2)$$

После деления обеих частей выражения (2) на $\sin \varphi$, и последующей операции интегрирования полученного равенства на отрезке $[0, \pi/2]$, найдём

$$I_n = I_{n-2} + \frac{2}{n-1} \sin(n-1)\varphi \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = I_{n-2} + \frac{2}{n-1} \sin \frac{n-1}{2} \varphi. \quad (3)$$

Рассмотрим далее три возможных случая:

1 Пусть n – нечётное, то есть $n = 2k+1, k \in N$, тогда $\frac{n-1}{2} = k\pi$ и соотношение (3) переписывается в виде

$$I_{2k+1} = I_{2k-1} = I_{2k-3} = \dots = I_3 = I_1 = \frac{\pi}{2}. \quad (4)$$

2 Пусть n – чётное число вида $n = 4k, k \in N$, тогда $\frac{n-1}{2} = 2k\pi - \frac{\pi}{2}$ и соотношение (3) переписывается в виде

$$I_{4k} = I_{4k-2} - \frac{2}{4k-1}. \quad (5)$$

При этом имеем

$$I_2 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sin 2\varphi}{\sin \varphi} d\varphi = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{2\sin \varphi \cos \varphi}{\sin \varphi} d\varphi = 2\sin \varphi \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = 2. \quad (6)$$

3 Пусть n – чётное число вида $n = 4k-2, k > 1, k \in N$ и соотношение (3) переписывается в виде

$$I_{4k-2} = I_{4k-4} + \frac{2}{4k-3}. \quad (7)$$

При этом имеем

$$\begin{aligned} I_4 &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sin 4\varphi}{\sin \varphi} d\varphi = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{2 \sin 2\varphi \cos 2\varphi}{\sin \varphi} d\varphi = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{4 \sin \varphi \cos \varphi \cos 2\varphi}{\sin \varphi} d\varphi = \\ &= 4 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - \cos^2 \varphi) d \sin \varphi = 4 \left(\sin \varphi \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} - \frac{2}{3} \sin^3 \varphi \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} \right) = 4 \left(1 - \frac{2}{3} \right) = \frac{4}{3}. \end{aligned} \quad (8)$$

Найдём, наконец, рекуррентные соотношения для членов последовательности I_n в случае чётного n при $n = 4k, n = 4k + 2, k \in N$:

– если $n = 4k$, то согласно (5), получим

$$I_{4k} = I_{4k-2} - \frac{2}{4k-1} \stackrel{(7)}{=} I_{4k-4} + \frac{2}{4k-3} - \frac{2}{4k-1} = I_{4k-4} + \frac{4}{(4k-3)(4k-1)}. \quad (9)$$

При этом $I_4 = \frac{4}{3}$. (10)

– если $n = 4k + 2$, то согласно (7), (заменой $k = k + 1$), получим

$$I_{4k+2} = I_{4k} - \frac{2}{4k+1} \stackrel{(5)}{=} I_{4k-2} - \frac{2}{4k-1} + \frac{2}{4k+1} = I_{4k-2} - \frac{4}{(4k-1)(4k+1)}. \quad (11)$$

При этом $I_2 = 2$. (12)

Найдём, исходя из рекуррентного соотношения (9) и (10), предел:

$$\begin{aligned} \lim_{k \rightarrow \infty} I_{4k} &= \lim_{k \rightarrow \infty} \left[\frac{4}{1 \cdot 3} + \frac{4}{5 \cdot 7} + \frac{4}{9 \cdot 11} + \dots + \frac{4}{(4k-3)(4k-1)} \right] = \\ &= 4 \frac{1}{2} \lim_{k \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \frac{1}{9} - \frac{1}{11} + \dots + \frac{1}{4k-3} - \frac{1}{4k-1} \right) = \cancel{4} \frac{1}{2} \cancel{4} \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{2}. \end{aligned} \quad (13)$$

Найдём, исходя из рекуррентного соотношения (11) и (12), предел

$$\begin{aligned} \lim_{k \rightarrow \infty} I_{4k+2} &= \lim_{k \rightarrow \infty} \left[2 - \frac{4}{3 \cdot 5} - \frac{4}{7 \cdot 9} - \frac{4}{11 \cdot 13} - \dots - \frac{4}{(4k-1)(4k+1)} \right] = \\ &= 2 \lim_{k \rightarrow \infty} \left[1 - \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{5} \right) - \left(\frac{1}{7} - \frac{1}{9} \right) - \left(\frac{1}{11} - \frac{1}{13} \right) - \dots - \left(\frac{1}{4k-1} - \frac{1}{4k+1} \right) \right] = \\ &= 2 \left(1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \frac{1}{9} - \frac{1}{11} + \dots \right) = 2 \frac{\pi}{4} = \frac{\pi}{2}. \end{aligned} \quad (14)$$

Наконец, согласно (4), получим

$$\lim_{k \rightarrow \infty} I_{2k-1} = \frac{\pi}{2}. \quad (15)$$

Исходя из полученных результатов (13)-(15), окончательно заключаем, что рассматриваемая последовательность I_n сходится, следовательно, имеем

$$\lim_{n \rightarrow \infty} I_n = \frac{\pi}{2},$$

что и требовалось найти.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Выгодский, М.Я. Справочник по элементарной математике / М.Я. Выгодский. -М.: Наука, 1987. -317 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: числовая последовательность, предел

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Куделин Олег Георгиевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГавт»
Фомин Василий Иванович, старший преподаватель ФГОУ ВПО «НГавт»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КООРДИНАТ ЯДРА СЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕРЖНЯ С Дугой ОКРУЖНОСТИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Н.С. Инкижинов, В.И. Фомин

MATHEMATICAL JUSTIFICATION OF THE ORIGIN CORE SECTION FOR THE CROSS SECTION BAR WITH A CIRCULAR ARC
 «Novosibirsk state academy of water transport»
 N.S. Inkizhinov, V.I. Fomin

This paper is a transition from the core section of the parametric job to the Cartesian coordinates. In addition, the core cross section is analyzed to identify extreme points and inflection points.

Keywords: nucleus cross sections, parametric representation of the line, Cartesian coordinates, the extreme value function, the inflection point

Выполнен переход от параметрического задания ядра сечения к декартовым координатам. Кроме того, ядро сечения анализируется на выявление точек экстремума и точек перегиба.

В статье [1] выведены формулы для координат $u_{\text{я}}$, $v_{\text{я}}$ ядра сечения, когда в поперечном сечении стержня присутствует дуга окружности

$$u_{\text{я}} = -i_v^2 \cdot \frac{\cos \phi}{a \cos \phi + b \sin \phi + r}, \quad (1)$$

$$v_{\text{я}} = -i_u^2 \cdot \frac{\sin \phi}{a \cos \phi + b \sin \phi + r}. \quad (2)$$

Перейдем от параметрического задания линии (1),(2) к декартовым координатам. Для этого [2] параметр ϕ в формуле (1) выразим через координату $u_{\text{я}}$, а затем, используя формулу (2), получим зависимость $v_{\text{я}}$ от $u_{\text{я}}$ для четвертей:

– I и II

$$v_{\text{я}} = -\frac{i_u^2}{i_v^2} \cdot \frac{(au_{\text{я}} + i_v^2) \sqrt{(au_{\text{я}} + i_v^2)^2 + (b^2 - r^2)u_{\text{я}}^2 - bru_{\text{я}}^2}}{b \sqrt{(au_{\text{я}} + i_v^2)^2 + (b^2 - r^2)u_{\text{я}}^2} + r(au_{\text{я}} + i_v^2)}, \quad (3)$$

– III и IV

$$v_{\text{я}} = -\frac{i_u^2}{i_v^2} \cdot \frac{(au_{\text{я}} + i_v^2) \sqrt{(au_{\text{я}} + i_v^2)^2 + (b^2 - r^2)u_{\text{я}}^2 + bru_{\text{я}}^2}}{b \sqrt{(au_{\text{я}} + i_v^2)^2 + (b^2 - r^2)u_{\text{я}}^2} - r(au_{\text{я}} + i_v^2)}. \quad (4)$$

Исследуем теперь координаты $u_{\text{я}}$, $v_{\text{я}}$ ядра сечения, выраженные через (1),(2).

Координата $u_{\text{я}}$, как видно из формулы (1), равна нулю, если $\cos \phi = 0$ или $\phi_1 = \pi/2$, $\phi_2 = 3\pi/2$.

Координата $v_{\text{я}}$ по формуле (2) равна нулю, когда $\sin \phi = 0$ или $\phi_1 = 0$, $\phi_2 = \pi$.

Для исследования функций $u_{\text{я}}$, $v_{\text{я}}$ на экстремум и определения точек перегиба возьмем первые и вторые производные этих функций по ϕ , а также от $v_{\text{я}}$ по $u_{\text{я}}$ [2]. Первые производные

$$\frac{du_{\text{я}}}{d\phi} = i_v^2 \frac{b + r \sin \phi}{(a \cos \phi + b \sin \phi + r)^2}; \quad (5)$$

$$\frac{dv_{\text{я}}}{d\phi} = -i_u^2 \frac{a + r \cos \phi}{(a \cos \phi + b \sin \phi + r)^2}; \quad (6)$$

$$\frac{dv_{\text{я}}}{du_{\text{я}}} = \left(\frac{dv_{\text{я}}}{d\phi} \right) / \left(\frac{du_{\text{я}}}{d\phi} \right) = -\frac{i_u^2}{i_v^2} \cdot \frac{a + r \cos \phi}{b + r \sin \phi}; \quad (7)$$

$$\frac{du_{\text{я}}}{dv_{\text{я}}} = 1 / \left(\frac{dv_{\text{я}}}{du_{\text{я}}} \right) = -\frac{i_v^2}{i_u^2} \cdot \frac{b + r \sin \phi}{a + r \cos \phi}. \quad (8)$$

Вторые производные

$$\frac{d^2 v_{\pi}}{du_{\pi}^2} = \frac{d}{du_{\pi}} \left(\frac{dv_{\pi}}{du_{\pi}} \right) = \frac{\frac{d}{d\phi} \left(\frac{dv_{\pi}}{du_{\pi}} \right)}{\frac{du_{\pi}}{d\phi}};$$

сначала возьмём

$$\frac{d}{d\phi} \left(\frac{dv_{\pi}}{du_{\pi}} \right).$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\phi} \left(\frac{dv_{\pi}}{du_{\pi}} \right) &= \frac{d}{d\phi} \left(-\frac{i_u^2}{i_v^2} \cdot \frac{a + r \cos \phi}{b + r \sin \phi} \right) = -\frac{i_u^2}{i_v^2} \cdot \frac{-r \sin \phi (b + r \sin \phi) - (a + r \cos \phi) r \cos \phi}{(b + r \sin \phi)^2} = \\ &= \frac{i_u^2}{i_v^2} \cdot \frac{br \sin \phi + r^2 \sin^2 \phi + ar \cos \phi + r^2 \cos^2 \phi}{(b + r \sin \phi)^2} = \frac{i_u^2}{i_v^2} \cdot \frac{r(a \cos \phi + b \sin \phi + r)}{(b + r \sin \phi)^2}. \end{aligned}$$

Тогда

$$\frac{d^2 v_{\pi}}{du_{\pi}^2} = \frac{i_u^2}{i_v^2} \cdot \left[\frac{r(a \cos \phi + b \sin \phi + r)}{(b + r \sin \phi)^2} \right] \left/ \left(\frac{b + r \sin \phi}{(a \cos \phi + b \sin \phi + r)^2} \right) \right] = \frac{i_u^2}{i_v^4} \cdot \frac{r(a \cos \phi + b \sin \phi + r)^3}{(b + r \sin \phi)^3};$$

$$\frac{d^2 v_{\pi}}{du_{\pi}^2} = \frac{i_u^2}{i_v^4} \cdot r \left(\frac{a \cos \phi + b \sin \phi + r}{b + r \sin \phi} \right)^3. \quad (9)$$

$$\frac{d^2 u_{\pi}}{d\phi^2} = \frac{d}{d\phi} \left(\frac{du_{\pi}}{d\phi} \right) = i_v^2 \cdot \frac{ar(1 + \sin^2 \phi) - br \sin \phi \cdot \cos \phi + 2ab \sin \phi + (r^2 - 2b^2) \cos \phi}{(a \cos \phi + b \sin \phi + r)^3}. \quad (10)$$

$$\frac{d^2 v_{\pi}}{d\phi^2} = \frac{d}{d\phi} \left(\frac{dv_{\pi}}{d\phi} \right) = i_u^2 \cdot \frac{br(1 + \cos^2 \phi) - ar \sin \phi \cos \phi + 2ab \cos \phi + (r^2 - 2a^2) \sin \phi}{(a \cos \phi + b \sin \phi + r)^3}. \quad (11)$$

Рассматривая из полученных уравнений три пары:

(1)-(2), (5)-(6), (10)-(11), связывающих координаты u_{π} , v_{π} и их первые и вторые производные по параметру ϕ , можно заметить, что оба уравнения в каждой паре обладают свойством взаимного соответствия, если величину a заменить на b , $a \sin \phi$ – на $\cos \phi$. Исключение представляет только пара (5)-(6), в которой при переходе от одного уравнения к другому меняется и знак.

Учтем при анализе функций (1), (2), что как было указано в статье [1]

$$R_{\phi} = a \cdot \cos \phi + b \cdot \sin \phi + r, \text{ всегда } > 0.$$

Рассмотрим полученные уравнения производных (5)-(11). Уравнение (5)

$$\frac{du_{\pi}}{d\phi} = 0, \text{ если } b + r \sin \phi = 0, \text{ отсюда } \sin \phi = -\frac{b}{r}.$$

Это уравнение имеет смысл, если $|b| \leq r$. В этом случае $\phi_1 = -\arcsin \frac{b}{r}$; $\phi_2 = -\pi + \arcsin \frac{b}{r}$.

Найдем экстремальное значение функции u_{π} .

$$\begin{aligned} \cos \phi_{1,2} &= \pm \sqrt{1 - \sin^2 \phi} = \pm \sqrt{1 - \left(-\frac{b}{r} \right)^2} = \pm \frac{\sqrt{r^2 - b^2}}{r}; \\ u_{\pi e1,2} &= -i_v^2 \cdot \frac{\pm \frac{\sqrt{r^2 - b^2}}{r}}{\pm a \frac{\sqrt{r^2 - b^2}}{r} + b \left(-\frac{b}{r} \right) + r} = -i_v^2 \cdot \frac{\pm \sqrt{r^2 - b^2}}{\pm a \sqrt{r^2 - b^2} + r^2 - b^2} = -i_v^2 \cdot \frac{1}{a \pm \sqrt{r^2 - b^2}}. \end{aligned}$$

Экстремальное значение функции u_{π}

$$u_{\pi e1,2} = -i_v^2 \frac{1}{a \pm \sqrt{r^2 - b^2}}. \quad (12)$$

Уравнение (6).

$$\frac{dv_{\pi}}{d\phi} = 0, \text{ если } a + r \cos \phi = 0, \text{ отсюда } \cos \phi = -\frac{a}{r}.$$

Это уравнение имеет смысл, если $|a| \leq r$. В этом случае

$$\phi_{1,2} = \pm \arccos\left(-\frac{a}{r}\right).$$

Найдем экстремальное значение функции v_{π} .

$$\begin{aligned} \sin \phi_{1,2} &= \pm \sqrt{1 - \cos^2 \phi} = \pm \sqrt{1 - \left(-\frac{a}{r}\right)^2} = \frac{\pm \sqrt{r^2 - a^2}}{r}; \\ v_{\pi 1,2} &= -j_u^2 \cdot \frac{\pm \sqrt{r^2 - a^2}}{a\left(-\frac{a}{r}\right) \pm b \cdot \frac{\sqrt{r^2 - a^2}}{r} + r} = -j_u^2 \cdot \frac{\pm \sqrt{r^2 - a^2}}{\pm b \cdot \sqrt{r^2 - a^2} + r^2 - a^2} = -j_u^2 \cdot \frac{1}{b \pm \sqrt{r^2 - a^2}}. \end{aligned}$$

Экстремальное значение функции v_{π}

$$v_{\pi 1,2} = -j_u^2 \cdot \frac{1}{b \pm \sqrt{r^2 - a^2}}. \quad (13)$$

Уравнение (7). Так как числители производных $\frac{dv_{\pi}}{du_{\pi}}$ и $\frac{dv_{\pi}}{d\phi}$ одинаковы, то $\frac{dv_{\pi}}{du_{\pi}} = 0$ при тех же значениях ϕ , что и $\frac{dv_{\pi}}{d\phi} = 0$, то есть $\phi_{1,2} = \pm \arccos\left(-\frac{a}{r}\right)$. Экстремальные значения $v_{\pi 1,2}$ вычисляются по формуле (13).

Проверим, может ли $\frac{dv_{\pi}}{du_{\pi}}$ иметь случай неопределенности $\left(\frac{0}{0}\right)$, то есть могут ли одновременно выполняться два уравнения

$$\begin{cases} a + r \cos \phi = 0; \\ b + r \sin \phi = 0. \end{cases} \quad (14)$$

Примем, что $a > 0$, тогда из первого уравнения получим $\cos \phi = -\frac{a}{r}$. Но

$$\sin \phi = \sqrt{1 - \cos^2 \phi} = \sqrt{1 - \left(-\frac{a}{r}\right)^2} = \frac{\sqrt{r^2 - a^2}}{r}.$$

Из второго уравнения найдем b

$$b = -r \cdot \sin \phi = -r \frac{\sqrt{r^2 - a^2}}{r} = -\sqrt{r^2 - a^2}.$$

Получим:

$$\cos \phi = -\frac{a}{r}; \sin \phi = \frac{\sqrt{r^2 - a^2}}{r}; b = -\sqrt{r^2 - a^2}.$$

Подставим эти величины в формулу для R_{ϕ}

$$R_{\phi} = a \cdot \cos \phi + b \cdot \sin \phi + r = a \cdot \left(-\frac{a}{r}\right) - \sqrt{r^2 - a^2} \cdot \frac{\sqrt{r^2 - a^2}}{r} + r = -\frac{a^2}{r} - \frac{r^2 - a^2}{r} + r = 0,$$

что противоречит указанию в статье [1], что R_{ϕ} всегда больше нуля.

Таким образом, доказано, что два уравнения системы (14) не могут одновременно равняться нулю и, следовательно, $\frac{dv_{\pi}}{du_{\pi}}$ не может иметь случай неопределенности $\left(\frac{0}{0}\right)$.

Уравнение (8). Числители производных $\frac{du_{\pi}}{dv_{\pi}}$ и $\frac{du_{\pi}}{d\phi}$ одинаковы, поэтому $\frac{du_{\pi}}{dv_{\pi}} = 0$ при тех же значениях $\phi_{1,2}$, когда и $\frac{du_{\pi}}{d\phi} = 0$, то есть, $\phi_1 = -\arcsin \frac{b}{r}$, $\phi_2 = -\pi + \arcsin \frac{b}{r}$. Экстремальные значения $u_{\pi 1,2}$ вычисляются по формуле (12). Случай неопределенности $\left(\frac{0}{0}\right)$, как доказано выше, отсутствует.

Уравнение (9). Исследуем кривую ядра сечения с помощью уравнения кривизны в декартовых координатах

$$K = \frac{y''}{[1 + (y')^2]^{3/2}}.$$

У нас

$$y'' = \frac{d^2 v_{\pi}}{du_{\pi}^2} = r \frac{i_u^2}{i_v^4} \left(\frac{a \cos \phi + b \sin \phi + r}{b + r \sin \phi} \right)^3, \quad y' = \frac{dv_{\pi}}{du_{\pi}} = -\frac{i_u^2}{i_v^2} \cdot \frac{a + r \cos \phi}{b + r \sin \phi}.$$

Тогда

$$K = \frac{r \cdot i_u^2 (a \cos \phi + b \sin \phi + r)^3}{i_v^4 (b + r \sin \phi)^3} : \left[1 + \left(-\frac{i_u^2}{i_v^2} \cdot \frac{a + r \cos \phi}{b + r \sin \phi} \right)^2 \right]^{3/2} =$$

$$= \frac{r \cdot i_u^2 \cdot i_v^2 (a \cos \phi + b \sin \phi + r)^3}{\text{sign}(b + r \sin \phi)^3 [i_u^4 (a + r \cos \phi)^2 + i_v^4 (b + r \sin \phi)^2]^{3/2}}.$$

Получили уравнение кривизны ядра сечения

$$K = \frac{r \cdot i_u^2 \cdot i_v^2 (a \cos \phi + b \sin \phi + r)^3}{\text{sign}(b + r \sin \phi)^3 [i_u^4 (a + r \cos \phi)^2 + i_v^4 (b + r \sin \phi)^2]^{3/2}}. \quad (15)$$

Рассмотрим это уравнение. В числителе стоит величина R_{ϕ} , которая всегда больше нуля. В знаменателе внутри квадратных скобок имеются два выражения в круглых скобках, которые, как было доказано при рассмотрении уравнения (7), не могут одновременно равняться нулю; поэтому все выражение в квадратных скобках является положительным. Кроме того, в знаменателе стоит знаковая функция $\text{sign}(b + r \sin \phi)^3$, которая отвечает за знак кривизны K .

Таким образом, кривизна K является конечной монотонно меняющейся величиной. Она может менять знак дважды при переходе через точки, наиболее удаленные от оси v .

На основании проведенных рассуждений можно сделать вывод, что кривая ядра сечения является гладкой кривой, не имеющей точек перегиба (так как $K \neq 0$) и, следовательно, представляет собой выпуклую плоскую кривую, ограничивающую односвязную область.

Уравнения (10) и (11). Числители этих уравнений, приравненные нулю, являются уравнениями с тремя переменными (a, b, ϕ), что не позволяет найти в общем виде значения аргументов ϕ для точек перегиба функций u_{π} и v_{π} . Для конкретных же значений переменных a и b значения аргументов ϕ можно получить с помощью численных методов. Приняв одну из переменных a или за постоянную величину, или что ещё проще – за ноль, получаем уравнение с двумя переменными, что позволяет решить задачу нахождения точек перегиба в общем виде.

Рассмотрим частный случай для уравнения (10) когда $a = 0$. Тогда $\frac{d^2 u_{\pi}}{d\phi^2} = 0$, если $-br \cdot \sin \phi \cos \phi + (r^2 - 2b^2) \cos \phi = 0$, что соответствует точкам перегиба на кривой в осях $\phi - u_{\pi}$. Проанализируем это уравнение

$$(r^2 - 2b^2 - br \cdot \sin \phi) \cos \phi = 0.$$

Здесь возможны два решения:

$$1) \cos \phi = 0;$$

$$2) r^2 - 2b^2 - br \cdot \sin \phi = 0,$$

если

$$\cos \phi = 0, \text{ то } \phi_1 = \frac{\pi}{2}, \phi_2 = \frac{3}{2}\pi.$$

Рассмотрим второе решение

$$r^2 - 2b^2 = br \cdot \sin \phi;$$

$$\frac{r^2 - 2b^2}{br} = \sin \phi. \quad (16)$$

Так как $-1 \leq \sin \phi \leq 1$, то можно записать

$$-1 \leq \frac{r^2 - 2b^2}{br} \leq 1.$$

Решая эти неравенства, получим что $b \in \left[\frac{r}{2}, r \right]$.

Проанализируем уравнение (16) с целью определения знака $\sin \phi$. Так как $b \in \left[\frac{r}{2}, r \right]$, то знаменатель (16) > 0 . Рассмотрим числитель этого уравнения. Он может иметь три значения:

$$r^2 - 2b^2 > 0, \text{ если } 2b^2 < r^2 \text{ или } b < \frac{r}{\sqrt{2}};$$

$$r^2 - 2b^2 < 0, \text{ если } 2b^2 > r^2 \text{ или } b > \frac{r}{\sqrt{2}};$$

$$r^2 - 2b^2 = 0, \text{ если } 2b^2 = r^2 \text{ или } b = \frac{r}{\sqrt{2}}.$$

Итак, получили, что если $b \in \left[\frac{r}{2}, \frac{r}{\sqrt{2}} \right]$, то $\sin \phi > 0$, если $b = \frac{r}{\sqrt{2}}$, то $\sin \phi = 0$, а если $b \in \left[\frac{r}{\sqrt{2}}, r \right]$, то $\sin \phi < 0$.

Таким образом, для этого частного случая ($a = 0$) уравнения (10) точками перегиба функции u_π являются точки, у которых $\phi_1 = \frac{\pi}{2}$, $\phi_2 = \frac{3}{2}\pi$ при любых значениях b . Если же величина $b \in \left[\frac{r}{2}, r \right]$, то функция u_π будет иметь дополнительные две точки перегиба с аргументами ϕ_3 и ϕ_4 . Эти аргументы определяют после вычисления $\sin \phi$ по формуле (16) и они зависят от знака этого синуса.

При $\sin \phi > 0$, $\phi_3 = \arcsin \phi$ (1-ая четверть), $\phi_4 = \pi - \phi_3$ (2-ая четверть); при $\sin \phi = 0$, $\phi_3 = 0$, $\phi_4 = \pi$; при $\sin \phi < 0$, $\phi_3 = \arcsin \phi$ (4-ая четверть), $\phi_4 = -\pi - \phi_3$ (3-ья четверть).

Теперь рассмотрим другой частный случай для того же уравнения (10), когда $b = 0$. Тогда $\frac{d^2 u_\pi}{d\phi^2} = 0$, если $ar \cdot (1 + \sin^2 \phi) + r^2 \cdot \cos \phi = 0$, что соответствует точкам перегиба на кривой в осях $\phi - u_\pi$. Проанализируем это уравнение, разделив его на постоянную величину r .

$a(1 + \sin^2 \phi) + r \cdot \cos \phi = 0$, но $\sin^2 \phi = 1 - \cos^2 \phi$, тогда получим $a(2 - \cos^2 \phi) + r \cdot \cos \phi = 0$, $a \cdot \cos^2 \phi - r \cdot \cos \phi - 2a = 0$. Отсюда

$$\cos \phi_{1,2} = \frac{r \pm \sqrt{r^2 + 8a^2}}{2a},$$

тогда

$$\cos \phi_1 = \frac{r}{2a} + \sqrt{\left(\frac{r}{2a}\right)^2 + 2}, \quad (17)$$

$$\cos \phi_2 = \frac{r}{2a} - \sqrt{\left(\frac{r}{2a}\right)^2 + 2}. \quad (18)$$

Решая уравнения (17) и (18), получим что областью допустимых значений величины a для определения $\cos \phi_1$ является промежуток $[-r, 0)$, а для определения $\cos \phi_2$ - промежуток $(0, r]$.

Для этого частного случая ($b = 0$) уравнения (10) имеются четыре точки перегиба функции u_π с четырьмя аргументами ϕ : $\pm \arccos \phi_1$ и $\pm \arccos \phi_2$, где $\cos \phi_1$ определяется по формуле (17), а $\cos \phi_2$ - по формуле (18). Заметим, что $\cos \phi_2 = -\cos \phi_1$. Это свидетельствует о симметрии аргументов ϕ .

При анализе уравнения (11) используем упомянутое свойство взаимного соответствия уравнений (10) и (11).

Для частного случая ($b = 0$) уравнения (11) точками перегиба функции в осях $\phi - v_\pi$ являются точки, у которых $\phi_1 = 0$, $\phi_2 = \pi$ при любых значениях a . Если же величина $a \in \left[\frac{r}{2}, r \right]$,

то функция v_{π} будет иметь дополнительные две точки перегиба с аргументами ϕ_3 и ϕ_4 . Эти аргументы определяют после вычисления $\cos \phi$ по формуле

$$\cos \phi = \frac{r^2 - 2a^2}{ar}, \quad (19)$$

и они зависят от знака этого косинуса.

При $\cos \phi > 0$, что бывает, когда $a \in \left[\frac{r}{2}, \frac{r}{\sqrt{2}} \right]$, $\phi_3 = \arccos \phi$ (1-ая четверть), $\phi_4 = -\arccos \phi$ (4-ая четверть); при $\cos \phi = 0$, или при $a = \frac{r}{\sqrt{2}}$, $\phi_3 = \frac{\pi}{2}$, $\phi_4 = \frac{3}{2}\pi$; наконец, при $\cos \phi < 0$, а это бывает, если $a \in \left(\frac{r}{\sqrt{2}}, r \right]$, $\phi_3 = \arccos \phi$ (2-ая четверть), $\phi_4 = -\arccos \phi$ (3-ья четверть).

Для другого частного случая ($a = 0$) того же уравнения (11) имеются четыре точки перегиба функции v_{π} с четырьмя аргументами: $\phi_I = \arcsin \phi_1$, $\phi_{II} = \pi - \arcsin \phi_1$, $\phi_{III} = \arcsin \phi_2$, $\phi_{IV} = -\pi - \arcsin \phi_2$, где $\sin \phi_1$ определяется по формуле

$$\sin \phi_1 = \frac{r}{2b} + \sqrt{\left(\frac{r}{2b} \right)^2 + 2}, \quad (20)$$

а $\sin \phi_2$ по формуле

$$\sin \phi_2 = \frac{r}{2b} - \sqrt{\left(\frac{r}{2b} \right)^2 + 2}. \quad (21)$$

Областью допустимых значений величины b для определения $\sin \phi_1$ является промежуток $[-r, 0)$, а для определения $\sin \phi_2$ – промежуток $(0, r]$.

Заметим, что $\sin \phi_2 = -\sin \phi_1$. Это свидетельствует о симметрии аргументов: $\phi_{III} = -\phi_I$, $\phi_{IV} = -\phi_{II}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Инкижинов, Н.С. Определение координат ядра сечения в параметрическом виде для поперечного сечения стержня с дугой окружности / Н.С. Инкижинов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. –С. 272-274.

2 Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. -М., 2000. - 864 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ядро сечения, параметрическое задание линии, декартовы координаты, экстремальное значение функции, точки перегиба

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Инкижинов Николай Сергеевич, старший преподаватель ФГОУ ВПО «НГавт»
Фомин Василий Иванович, старший преподаватель ФГОУ ВПО «НГавт»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КОМПОЗИТНЫХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Ю.В. Борисенко

CONTEMPORARY STUDIES OF USAGE OF COMPOSITE ALTERNATIVE KINDS OF FUELS

«Novosibirsk state academy of water transport»

Yu. V. Borisenko

Results of studies devoted to the usage of composite alternative and renewable fuels in diesel engines are reviewed.

Keywords: alternative fuel, rapeseed oil, ethanol

Рассмотрены результаты исследований по использованию композитных альтернативных и возобновляемых топлив в дизельных двигателях.

В настоящее время разработки и исследования в сфере альтернативных и возобновляемых видов топлива становятся все более актуальными.

Необходимость таких исследований вызвана следующими причинами:

- экологическая ситуация планеты с каждым годом ухудшается, что крайне негативно отражается на здоровье людей;
- спрос на потребление энергоресурсов в мире стремительно растет;
- мировые запасы нефти и газа все быстрее сокращаются, оставляя для эксплуатации месторождения, которые отличаются сложными геолого-экономическими условиями и удаленностью от мест потребления.

Проводятся исследования по использованию спиртов в качестве альтернативных топлив в дизелях в виде композиционных топлив, получаемых из возобновляемых источников.

К достоинствам спиртов следует отнести обширную сырьевую базу и относительно низкую стоимость получения (особенно для этанола и метанола). Применение смеси спирта и дизельного топлива позволяет обойтись без переделки двигателя.

Исследования показали, что при одинаковой мощности двигателя использование смеси дизельного топлива со спиртом приводит к снижению дымности отработавших газов по сравнению с нефтяным топливом. При этом отмечаются и негативные моменты, так, с увеличением концентрации этанола в топливе с 5 до 15% цетановое число снижается с 43 до 37 ед., температура вспышки в закрытом тигле составляет 13-14 °С (по требованию стандартов – не ниже 40 °С), температура помутнения увеличивается с +3 до +25 °С (по стандарту – не выше -5 °С) [6].

В МАДИ была разработана топливная система, осуществляющая подачу этанола и дизельного топлива в камеру сгорания дизеля через одну форсунку. Эта система в начале впрыскивания обеспечивает преимущественную подачу дизельного топлива (до 80%), а окончание подачи смесевое топлива в камеру сгорания происходит с преимущественным содержанием этанола до (60%). При испытании дизеля Д-120, укомплектованного этой топливной системой, на режиме максимального крутящего момента дымность снизилась в 1,5-2 раза по сравнению с работой на чистом дизельном топливе [5].

В работе [8] приводятся результаты моторных испытаний двигателя 1Ч13/14 на смеси спирто-дизельного топлива, исследования проводились на кафедре ДВС АлтГТУ. Исследования показали следующее: жесткость работы при использовании композиционных топлив увеличивается в 1,1-1,5 раза; максимальное давление цикла возрастает на 15-20%; максимальная температура сгорания изменяется в пределах 3-7%, причем для топлив, содержащих 60% дизтоплива увеличивается, а для топлив, содержащих 40% дизтоплива – уменьшается; суммарные экологические показатели улучшаются.

Следует обратить внимание на то, что во всех исследованиях отмечалось, что дизельное топливо плохо смешивается со спиртом, поэтому применялись растворители позволяющие создавать нерасслаиваемые растворы.

Таким образом, все исследования показывают, что композиционные спирто-дизельные топлива имеют удовлетворительные экологические показатели.

К достоинствам спиртов следует отнести обширную сырьевую базу, недостаток – повышенная жесткость работы, уменьшающийся моторесурс двигателя.

В качестве топлив из возобновляемого сырья наибольшее распространение получают растительные масла.

Недостатками растительных масел как топлива по сравнению с нефтепродуктами являются их меньшая теплота сгорания (на 7-10%), более высокая вязкость (в 6 раз и более), повышенная склонность к нагарообразованию, низкая испаряемость [3]. Поэтому большинство дизельных двигателей может работать на чистых растительных маслах непродолжительное время. Однако важным свойством растительных масел является способность смешиваться в любых пропорциях с большинством органических растворителей. Это свойство растительных масел позволяет получать моторные топлива с заданными свойствами путем смешивания различных компонентов в требуемых пропорциях.

Исходя из стоимости, доступности и физико-химических характеристик, наиболее подходящим для производства топлива является рапсовое масло, которое может быть использовано в качестве основы или компонента топлива.

Рапсовое масло представляет собой смесь моно-, ди-, и триацилглицеринов, которые содержат в своем составе молекулы различных жирных кислот (таблица), то есть высокомолекулярных кислородосодержащих соединений с углеводородным основанием, связанных с

молекулой глицерина.

Рапсовое масло в зависимости от способа обработки, показателей качества и назначения подразделяют на марки: Р-для промышленной переработки с применением рафинации и дезодорации; СК-для производства саломасов и кулинарных жиров; П-для поставки в торговую сеть; Т-для технических целей [2].

Главным достоинством топлив, получаемых из рапсового масла – практически полная биоразлагаемость.

В настоящее время проводятся многочисленные исследования дизелей, работающих на рапсовом масле и смеси рапсового масла с дизельным топливом, а также на смеси рапсового масла и этилового спирта.

В работах [1, 3, 6] приводятся результаты исследований смесового топлива с различным содержанием рапсового масла. При работе дизеля Д-245.12С на биотопливе с содержанием масла от 0 до 60% было установлено, что оптимальным составом смесового топлива является содержание в нем 80% дизельного топлива и 20% рапсового масла [1, 3].

Результаты исследований показывают:

- при работе дизеля на смесовом биотопливе массовый выброс углеводородов снизился на 36,5%, выброс оксидов азота снизился на 3,8%, а выброс монооксида углерода вырос на 9,5% (это связано с увеличением часового расхода биотоплива);
- ресурс двигателя не меняется, биотопливо имеет хорошие смазывающие свойства;
- мощность двигателя снижается, потому что снижается теплотворная способность максимальной цикловой подачи топлива;
- после испытаний, длившихся около 500 ч, было отмечено частичное закоксовывание распылителей форсунок [3].

Для устранения коксования предлагается проводить специальные мероприятия: периодическая работа на высокофорсированных режимах, периодическая подача водотопливных эмульсий через распыливающие отверстия.

Рассмотренные исследования подтверждают целесообразность использования смесового биотоплива на основе рапсового масла в дизельных двигателях, при условии проведения профилактических работ по регулировке и техническому обслуживанию форсунок.

Частичная замена дизельного топлива топливами биологического происхождения является средством экономии традиционного нефтяного топлива, но такие топлива являются невозобновляемыми. Согласно Киотскому протоколу, при сжигании минеральных видов топлива, полученных из недр Земли (уголь, нефть, газ) происходит увеличение процентного содержания углекислоты в атмосфере, что в свою очередь приводит к парниковому эффекту и глобальному потеплению. Поэтому на сегодняшний день наибольший интерес представляют исследования по применению в дизельных двигателях топлив из возобновляемого сырья.

Один из способов снижения вязкости рапсового масла – приготовление эмульсий рапсового масла с этанолом.

В работе [7] в качестве топлива для дизелей предлагаются композиции биотоплива, состоящего из рапсового масла и этилового спирта. В результате испытаний было установлено, что содержание спирта в смеси не должно превышать 30%. При работе на таком биотопливе дизель сохраняет свои функциональные свойства. Мощность и экономичность дизеля при этом уменьшается пропорционально уменьшению энергоемкости цикловой подачи топлива. Для компенсации мощности необходимо увеличивать цикловую подачу на 12-16% и угол опережения впрыска на 4-6 °ПКВ. Содержание токсичных компонентов (оксидов азота и сажи) при применении биотоплива существенно уменьшается по сравнению с их содержанием в отработанных газах дизеля, работающего на дизельном топливе (содержание сажи уменьшается на 50%, оксидов азота на 12%).

Следует отметить, что рапсовое масло и этанол не растворяются, но можно добиться более качественного смесеобразования если добавить в эмульсию воду. Исследования такой эмульсии, состоящей из 50% рапсового масла, 26% этанола и 24% воды показали: эмульсия не расслаивалась и оставалась стабильной в течении 7 суток; кинематическая

Таблица – Химический состав рапсового масла

Наименование кислоты	Формула состава	Содержание, % масс.
Пальмитиновая	$C_{16}H_{32}O_2$	4,8
Стеариновая	$C_{18}H_{36}O_2$	1,7
Олеиновая	$C_{18}H_{34}O_2$	43,7
Линолевая	$C_{18}H_{32}O_2$	20,9
Линоленовая	$C_{18}H_{30}O_2$	8,5
Эйкозеновая	$C_{20}H_{38}O_2$	4,8
Эруковая	$C_{22}H_{42}O_2$	15,6

вязкость эмульсии – 12 сСт [4].

К сожалению, исследования таких эмульсий малочисленны.

Стабильность спирто-водно-масляной эмульсии позволяет применять простые топливные системы для сжигания такой эмульсии в дизелях. Исследования сжигания таких эмульсий в дизелях являются актуальной задачей экспериментального исследования.

Несомненным преимуществом топлива растительного происхождения является его высокая экологичность в процессе производства, а так же в процессе сгорания в дизельных двигателях, поэтому целесообразно проводить дальнейшие исследования композитных видов топлива из возобновляемого сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях / А.И. Гайворонский [и др.]. -М.: ИРЦ Газпром, 2007. -480 с.

2 ГОСТ 8988-2002. Масло рапсовое. Технические условия. -М.: Изд-во стандартов, 2002. (Межгосударственный стандарт).

3 Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н. Девянин [и др.]. -М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2007. -320 с.

4 Долгополов, Г.А. Исследование теплотворной способности биотоплива на основе рапсового масла / Г.А. Долгополов, О.И. Шелудяков // Дизельные энергетические установки речных судов: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2009. -С. 42-46.

5 Системы подачи альтернативных топлив в камеру сгорания дизеля / В.И. Мальчук [и др.] // Поршневые двигатели и топлива в XXI веке. -М., 2003. -С. 53-67.

6 Результаты испытаний и перспективы эксплуатации дизелей на биотопливе. -М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. -136 с.

7 Хадрус, А.А. Экономия энергоресурсов и улучшение экологических показателей дизеля путем применения биотоплива растительного происхождения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Хадрус А.А. -М., 1998. -20 с.

8 Хичика, Ж.А. Прогнозирование параметров рабочего процесса дизеля при использовании спирто-дизельных топлив: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Хичика Ж.А. -Барнаул, 2005. -18 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: альтернативное топливо, рапсовое масло, этанол

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Борисенко Юлия Владимировна, старший преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ВИБРОЗАЩИТНОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ГАСИТЕЛЯ КОЛЕБАНИЙ С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УПРУГОЙ СВЯЗЬЮ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.В. Жаров, В.Ю. Гросс

BLOCK DIAGRAM VIBROPROTECTION SYSTEM BASED ON DYNAMIC OSCILLATION DAMPERS WITH ADDITIONAL ELASTIC COUPLING

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.V. Zharov, V.Ju. Gross

Consider the representation of a design scheme of the system based on a dynamic damper with additional elastic connection between the mass damper and the base of a structural form. The equations of vibrations in an operator form.

Keywords: fluctuations, vibroprotection, dynamic damper

Рассмотрено представление расчётной схемы системы на базе динамического гасителя колебаний с дополнительной упругой связью между массой гасителя и основанием в структурной форме. Приведены уравнения колебаний в операторной форме.

Для исследования колебательных процессов в динамических системах часто используется структурный метод. Представление исследуемой системы с помощью структурной схе-

мы позволяет использовать для её анализа и синтеза методы теории автоматического управления. «Структурные методы позволяют вскрывать внутренние связи и способствуют ясному пониманию существа процессов, протекающих в системе и её отдельных частях» [1]. Следует отметить, что особое преимущество даёт использование данного подхода при проектировании активных систем, так как он позволяет применить математический аппарат теории автоматического управления для синтеза цепей активных связей из условий заданных показателей качества и требований, предъявляемых к системе.

Применим структурный метод для анализа виброзащитной системы, вариант которой предложен в [2]. Её расчётная схема представлена на рисунке 1.

Математическое описание данной схемы приведено в [3]. Движение данной системы при воздействии на неё внешней гармонической силы описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m_0 \ddot{x}_0 + (C_0 + C_1) \cdot x_0 - C_1 x_1 + (h_0 + h_1) \cdot \dot{x}_0 - h_1 \dot{x}_1 = F_0 \sin \omega t; \\ m_1 \ddot{x}_1 - C_1 x_0 + (C_1 + C_2) \cdot x_1 + (h_1 + h_2) \cdot \dot{x}_1 - h_1 \cdot \dot{x}_0 = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где C_0, C_1, C_2 – жёсткости пружин подвесок основной системы и гасителя;

m_0, m_1 – массы твёрдого тела основной системы и динамического гасителя соответственно;

h_0, h_1, h_2 – коэффициенты демпфирования;

F_0 – амплитуда внешней силы, действующей на основную массу.

Наиболее распространённым видом математического описания САУ, используемым в теории управления, является описание в форме структурных схем. Данный способ наиболее наглядно отражает основные части системы, их взаимосвязь, динамические свойства, а также прохождение и преобразование сигналов управления. При этом наибольшее распространение для описания САУ получили схемы, представляющие систему в виде соединения звеньев направленного действия, характеристики «вход-выход» которых заданы передаточными функциями. Эти функции представляют собой рациональные дроби, со степенью числителя и знаменателя не выше второй, так как если система описывается передаточной функцией выше второго порядка, то её всегда можно представить совокупностью динамических звеньев, передаточные функции которых не превышают данный порядок.

Данную расчётную схему можно привести к структурной схеме, записав уравнения системы (1) в операторной форме:

$$\begin{cases} (T_0^2 p^2 + T_0 q_0 p + 1) \cdot x_0(p) - (T_0 q_{01} p + k) \cdot x_1(p) = F(p); \\ (T_1^2 p^2 + T_1 q_1 p + 1) \cdot x_1(p) - \frac{1}{\mu \nu} \left(T_1 q_{01} p + \frac{k}{\nu} \right) \cdot x_0(p) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где T_0 – постоянная времени исследуемой системы,

$$T_0 = \frac{1}{\omega_0};$$

T_1 – постоянная времени динамического гасителя колебаний;

$$T_1 = \frac{1}{\omega_1};$$

p – оператор Лапласа;

q_0, q_{01}, q_1 – относительные коэффициенты вязкого трения,

$$q_0 = 2 \frac{h_0 + h_1}{h_{0 \text{ кр}}}; q_{01} = 2 \frac{h_1}{h_{0 \text{ кр}}}; q_1 = 2 \frac{h_1 + h_2}{h_{1 \text{ кр}}};$$

μ – отношение масс гасителя и основной системы,

$$\mu = m_1 / m_0;$$

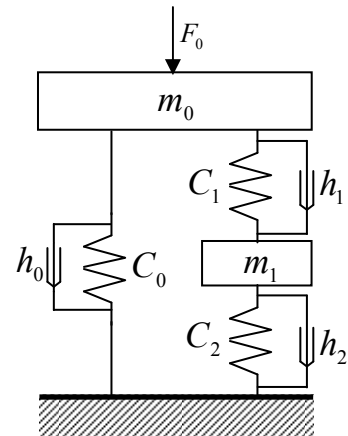


Рисунок 1 – Расчётная модель системы с ДГК с дополнительной упругой связью

ν – настройка гасителя,

$$\nu = \omega_1 / \omega_0 - ;$$

k – коэффициент,

$$k = \frac{C_1}{m_0 \omega_0^2} ;$$

ω_0 – собственная частота основной системы без гасителя,

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C_0 + C_1}{m_0}} - ;$$

ω_1 – парциальная частота гасителя

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{m_1}} - ;$$

$$h_{0 \text{ кр}} = 2m_0 \omega_0 ; h_{1 \text{ кр}} = 2m_1 \omega_1 ;$$

C_0, C_1 – коэффициенты жесткости основного упругого элемента и упругого элемента гасителя соответственно.

В соответствии с системой уравнений (2) структурная схема системы с динамическим гасителем колебаний будет иметь вид, приведённый на рисунке 2.

В теории управления вводятся в рассмотрение понятия типовых элементарных звеньев, то есть некоторых простейших составных частей, из которых строится динамическая система. Такими типовыми элементарными звеньями являются пропорциональные (безынерционное, апериодическое, колебательное), интегрирующее, дифференцирующее, а также форсирующие звенья. Как отмечалось, порядок этих звеньев (то есть уравнений, описывающих их) не превышает второго. Учитывая тот факт, что гаситель в процессе работы должен иметь оптимальную настройку ($\nu = 1$) и вводя $k = T_0^2 \frac{C_1}{m_1}$, преобразуем структурную схему, приведенную на рисунке 2, к виду с типовыми динамическими звеньями (рисунок 3).

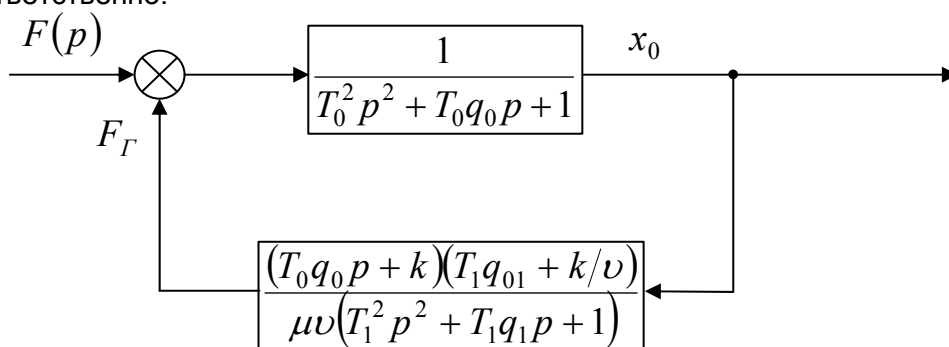


Рисунок 2 – Структурная схема ДГК с дополнительной упругой связью

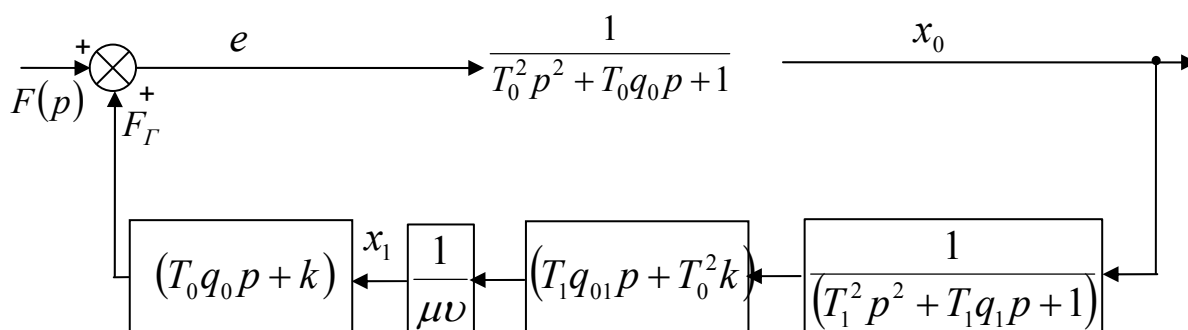


Рисунок 3 – Преобразованная структурная схема системы с динамическим гасителем

В качестве ошибки регулирования e в этой схеме рассматривается разность между возбуждающей силой $F(p)$ и реакцией динамического гасителя F_r .

При построении структурных схем считалось, что величина трения q_1 не зависит от изменения парциальной частоты гасителя, что вообще-то, не так. Величина трения определяется согласно формуле

$$q_1 = 2 \frac{h_1 + h_2}{h_{1\text{кр}}} = 2 \frac{h_1 + h_2}{2m_1\omega_1} = \frac{h_1 + h_2}{m_1\omega_1},$$

а, следовательно, при изменении ω_1 изменяется и величина трения. Однако, как показывают исследования и анализ литературных источников [4-6], допущение о том, что трение в основной пружине подвески гасителя не зависит от частоты, в первом приближении вполне допустимо. Вместе с тем, необходимо заметить, что при разработке систем, активно воздействующих на величину трения в целях снижения вибраций, изменение величины трения q_1 при различных частотах возбуждающей силы обязательно надо учитывать. В то же время, по полученным структурным схемам достаточно просто исследовать влияние различных параметров (жесткостей упругих элементов, настройки гасителя и т.п.) на характеристики виброзащитных подвесок с ДГК, в которых в первом приближении можно пренебречь трением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Горбачев, Е.Д. Аналоговое моделирование систем управления / Е.Д. Горбачев, Ф.Ф. Левинзон. -М.: Наука, 1984. -304 с.
- 2 Пат. 2082907С1 Российская Федерация, МКИЗ F 02 М 32/12. Устройство для виброизоляции машин / С.П. Глушков, А.М. Барановский. -Опубл. 23.12.97, Бюл. №186. -2 с.
- 3 Жаров, А.В. Математическое описание динамического гасителя / А.В. Жаров // Дизельные энергетические установки речных судов: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2002. -С. 48-55.
- 4 Вибрации в технике: справочник: в 6 т. / ред. В.Н. Челомей. -М.: Машиностроение, 1978. -Т.6: Защита от вибраций и ударов: справ. изд. / В.К. Асташев, [и др.]; ред. К.В. Фролов. -1981. -456 с.
- 5 Жаров, А.В. Использование эффекта трения для повышения эффективности виброгашения в системах с динамическими гасителями колебаний / А.В. Жаров // Дизельные энергетические установки речных судов: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2003. -С. 40-45.
- 6 Пассивная и активная виброзащита судовых механизмов / А.Е. Божко [и др.]. -Л.: Судостроение, 1987. -176 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: колебания, виброзащита, динамический гаситель
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Жаров Алексей Валерьевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГавт»
 Гросс Владимир Юлиусович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавт»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

ПРИВЕДЕННАЯ ЧАСТОТА СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ШАРНИРНО-РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.А. Зув

PROVIDED NATURAL FREQUENCY OF THE HINGE-LINKAGE
 «Novosibirsk state academy of water transport»
 A.A. Zuev

Some questions of the theory of the vibration insulation in the light of concepts the resulted ruggedness and the resulted frequency of own fluctuations are stated.

Keywords: reduced frequency, the natural oscillations, the mechanism

Изложены некоторые вопросы теории виброизоляции в свете понятий приведенная жесткость и приведенная частота собственных колебаний.

В статье [1] на примере КШМ показано, что приведенная жесткость $C_{\text{пр}}$ является первой производной от приведенной силы $F_{\text{пр}}$ по перемещению точки приведения

$$C_{\text{пр}} = \frac{dF_{\text{пр}}}{dx}. \quad (1)$$

В Новосибирской государственной академии водного транспорта (НГАВТ) студенты выполняют курсовые и лабораторные работы по определению приведенной жесткости различных сложных пружинно-рычажных механизмов. В заданиях к ним для КШМ обычно задается отношение длины шатуна к радиусу кривошипа равным от трех до четырех. При решении задачи и построении графика $F_{пр} = f_1(x)$ получаем кривую близкую к синусоиде, но кривая $C_{пр} = f_2(x)$ заметно отличается от косинусоиды. Ординаты экстремальных точек кривой $F_{пр} = f_1(x)$ смещались друг к другу. Естественно, точки пересечений кривой $C_{пр} = f_2(x)$ с осью абсцисс тоже смещались друг к другу. Если использовать отношение длины шатуна к радиусу кривошипа меньше трех, то искажение отмеченное выше увеличивается. Если отношение длины шатуна к радиусу кривошипа увеличивать до бесконечности, то кривая $F_{пр} = f_1(x)$ будет чисто синусоидальной. Ясно, что и кривая $C_{пр} = f_2(x)$ тоже будет косинусоидальной, а приведенная частота механизма [2, 3]

$$\omega_{пр} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_{пр}}{m_{пр}}}, \quad (2)$$

находящегося в движении, будет непрерывно изменяющейся в течении цикла. При бесконечно длинном шатуне закон изменения $\omega_{пр}$ будет чисто синусоидальным (со знаком минус). Отметим, что синусный механизм в нашем исследовании, является полным аналогом КШМ с бесконечно длинным шатуном. Возникает мысль, что $\omega_{пр}$ является производной от приведенной жесткости по приведенной массе

$$\omega_{пр} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{dC_{пр}}{dm_{пр}}}. \quad (3)$$

Проверка по методу размерностей производных дает полное совпадение

$$\frac{1}{c} = \sqrt{\frac{H}{M} \frac{1}{kg}}; \frac{1}{c^2} = \frac{H}{M} \frac{1}{kg}. \quad (4)$$

Из второго закона Ньютона имеем

$$kg = \frac{H \cdot c^2}{M}. \quad (5)$$

Подставляя выражение (5) в (4) получим

$$\frac{1}{c^2} = \frac{H}{M} \cdot \frac{M}{H \cdot c^2},$$

а после сокращения $\frac{1}{c^2} = \frac{1}{c^2}$. Отсюда имеем

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{c}. \quad (7)$$

Все члены уравнения (4) можно было и не возводить в квадрат, а все члены правой части находящиеся под корнем обозначать в степени 0,5. Результат будет прежним (7). Обратим внимание, что приведенная жесткость имеет размерность $C_{пр}$ (Н/м), а приведенная частота $\omega_{пр}$ (с⁻¹). В статике приведенная жесткость $C_{пр}$ и приведенная частота $\omega_{пр}$ является постоянными величинами (если механизм имеет одну степень свободы). При движении механизма $C_{пр}$ и $\omega_{пр}$ уже переменные и обе они являются функциями времени.

Вернемся к КШМ. Если шатун не бесконечной длины, то точки экстремумов на графиках [1] как упомянуто выше сближаются. При этом косинусоида значительно искажается особенно при приближении к верхней мертвой точке (ВМТ). График $C_{пр}$ при этом имеет отрицательные значения и ординаты точек этой кривой стремительно растут. Если кривая $\omega_{пр}$ в зоне ВМТ является производной от $C_{пр}$, то ординаты графика $\omega_{пр}$ растут в ещё большей степени. Если считать, что детали КШМ достаточно жесткие (не абсолютно жесткими), то частота их собственных колебаний может на несколько порядков превышать частоту вращения коленчатого вала. При нахождении поршня вблизи ВМТ вся цепочка звеньев КШМ проходит все гармоники собственных частот колебаний этих звеньев по всем шести (!) степеням свободы. И по всем шести степеням свободы все детали КШМ накапливают энергию от ведущего звена (кривошипа или поршня), которая расходуется на высокочастотные затухающие колебания. С каждым оборотом коленчатого вала процесс повторяется. Часть энергии

высокочастотных колебаний расходуется на усталостные повреждения деталей КШМ. Общеизвестно, что с увеличением частоты колебаний амплитуды убывают, до значений, меньших, чем зазоры в кинематических парах механизмов. С позиций определяемых формулой (3) КШМ ДВС представляется в виде набора звеньев имеющих по шесть степеней свободы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Зуев, А.А. Новые вопросы теории виброизолирующих механизмов и систем / А.А. Зуев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№2. -С. 195-199.

2 Зуев, А.К. О подобии колебательных процессов и теории света / А.К. Зуев, А.А. Зуев, Ю.И. Ришко // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2007. -№2. -С. 236-237.

3 Зуев, А.К. Волновая теория света / А.К. Зуев // Вестн. НО ПАНИ. -Новосибирск, 2009. - №12. -С. 42-45.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: приведенная частота, собственные колебания, механизм
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Зуев Андрей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Трибологическая оценка состояния дизелей по общей загрязненности масла

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.В. Викулов

TRIBOLOGICAL ASSESSMENT OF THE DIESELS ON THE TOTAL OIL CONTAMINATION
«Novosibirsk state academy of water transport»
S.V. Vikulov

The relationship between the technical condition of the engine and the overall contamination of working oil obtained by a linear regression model of wear process. Observed choice of diagnostic standards.

Keywords: marine diesel, maintenance, general pollution of oil, technical diagnostics, tribology

На основе взаимосвязи между техническим состоянием дизеля и общей загрязненностью работающего масла, получена линейная регрессионная модель процесса изнашивания. Обоснован выбор диагностических нормативов.

Ресурсные показатели, надежность и экономичность ДВС различного назначения (в том числе главных дизелей СЭУ) в значительной мере определяются износным состоянием трущихся деталей ЦПГ и КШМ. В условиях сложившейся кризисной ситуации на речном флоте применение методов и средств безразборной диагностики состояния этих узлов приобретает особую актуальность [1].

Анализ математических моделей, алгоритмов диагностирования и прогнозирования показывает [2, 3], что они выстраиваются в некоторую естественную иерархию: во-первых, начиная с менее или более глубокого изучения физических основ, протекающих в машине процессов, и разработки методик получения информации о физическом состоянии трущихся деталей, основанных на принципах классического детерминизма; во-вторых, до попыток построения обобщенных стохастических закономерностей, основанных на методах системного анализа, теории информации и технической кибернетики.

Разработанные автором данной статьи математические модели диагностирования и прогнозирования судовых дизелей на основе спектрального анализа работающего масла относятся к моделям второго рода и успешно прошли апробацию в производственных условиях развитой инфраструктуры Западно-Сибирского речного пароходства [2, 4] и показали свою экономическую эффективность при наличии большого парка эксплуатируемых дизелей.

В сложившихся рыночных условиях судоходным компаниям, особенно частным, использование системы диагностирования на основе спектрального анализа масла экономически невыгодно из-за больших капитальных затрат и срока окупаемости. Однако, накопленный

производственный опыт позволяет заключить, что в этом случае с успехом может быть использован такой обобщенный диагностический параметр, как общая загрязненность τ масла [2], который в комплексе с контролируруемыми судовым экипажем показателями теплотехнического контроля позволит обоснованно вынести решение о техническом состоянии дизеля в процессе его эксплуатации.

Цель настоящей работы разработать на основе полученных ранее результатов алгоритм диагностирования состояния трущихся деталей дизеля, а также самого масла по его общей загрязненности. Ниже изложены результаты такой разработки.

В процессе работы ДВС картерные масла загрязняются примесями, которые условно делятся на растворимые и нерастворимые. Растворимые примеси – это в основном продукты неполного окисления и полимеризации масла, топливо и органические кислоты. В свою очередь нерастворимые в масле примеси делятся на органические (карбены, асфальтены и др.) и неорганические (металлы, окислы металлов – продукты износа деталей; минеральная часть – частицы пыли).

При длительной работе дизеля в условиях установившегося износа и постоянном уровне масла характерна стабилизация содержания примесей в масле [2]. Возрастание интенсивности изнашивания деталей какого-либо сопряжения двигателя приводит соответственно к возрастанию уровня загрязненности и старению масла. Это обстоятельство используется при диагностировании и прогнозировании состояния трущихся деталей по средним показателям параметра.

Общая загрязненность масла τ , как диагностический параметр, определялась при помощи фотоэлектрического колориметра-нефелометра ФЭК-56М. При оценке концентрации вещества в фотометрической практике используется зависимость Бугера-Ламберта

$$J = J_0 \exp(-\tau d), \quad (1)$$

где J_0 – интенсивность падающего света;

J – интенсивность прошедшего света;

d – толщина среды;

τ – показатель поглощения (общая загрязненность).

Выразив τ из формулы (1), получим

$$\tau = \frac{\ln\left(\frac{J_0}{J}\right)}{d} = \frac{2,3 \log\left(\frac{J_0}{J}\right)}{d} = \frac{2,3}{d} D, \quad (2)$$

где D – оптическая плотность раствора (показание прибора, ед.),

$$D = \log\left(\frac{J_0}{J}\right).$$

При измерениях использовалась кювета толщиной 0,3 см и зеленый светофильтр №2. В целях экономии растворителя при анализе коэффициент разбавления i был принят нами равным 101. Тогда

$$\tau = \frac{2,3D}{d} i = 774D, \text{ см}^{-1}, \quad (3)$$

Средняя относительная погрешность измерения τ для серии 10 параллельных определений в диапазоне $D = 0 \dots 0,2$ единицы составила величину $\partial\tau = \pm 4\%$ с надежностью $P = 0,95$. Для $D > 0,2$ единицы эта величина уменьшается.

В работе [2] установлено, что общая загрязненность τ наиболее хорошо аппроксимируется законом гамма-распределения, плотность которого имеет вид

$$f(\tau) = \frac{\lambda^r}{\Gamma(r)} \tau^{r-1} \exp(-\lambda\tau), \quad (4)$$

где $\Gamma(r)$ – гамма функция Эйлера;

r – параметр формы;

λ – параметр масштаба.

В таблице приведены основные характеристики такого распределения для различных (D_1 - исправное, D_2 - дефектное) состояний дизелей Г70-5, эксплуатируемых на судах типа «ОТ-2000». Пробы масла получены с 57 дизелей.

В технической диагностике важное значение имеет описание состояния объекта кон-

троля системой параметров, обладающих большой диагностической ценностью. Расчеты частной $Z_{D_1}(\tau)$, $Z_{D_2}(\tau)$ и общей $Z_D(\tau)$ диагностической ценности, проведенной по методике работы [2], показали, что общая загрязненность масла является довольно информативным параметром, занимает третье место после средней концентрации железа и температуры вспышки масла: $Z_D(K_{Fe}) = 0,353$; $Z_{D_1}(t_{всп}) = 0,097$; $Z_{D_1}(\tau) = 0,084$. Эти параметры связаны единым физическим механизмом процесса изнашивания: концентрация железа напрямую связана с интенсивностью изнашивания сопряжения «втулка-поршень», что ведет к увеличению зазоров и попаданию продуктов износа, топлива и продуктов неполного сгорания в работающее масло. Для изучения характера статической связи между общей загрязненностью τ и концентрацией железа K_{Fe} , как основного диагностического параметра состояния деталей ЦПГ, был проведен корреляционно-регрессионный анализ экспериментального материала.

Таблица – Характеристики распределения общей загрязненности масла М10В2 для различных состояний дизелей Г70-5

Состояние дизеля	Объем выборки	Диапазон варьирования	Среднее значение	Квадратическое отклонение	Параметры распределения	
					r	λ
D_1	176	40-1000	432,73	238,86	3,279	0,008
D_2	137	110-1320	596,20	268,29	4,928	0,008

Линейная регрессионная модель вида

$$\tau = a + bFe = 98,21 + 5,77Fe, \quad (5)$$

где a, b – коэффициенты, определенные путем обработки массива опытных точек $\{K_{Fe}, \tau\}$ методом наименьших квадратов, адекватно описывает опытный материал.

Так, коэффициент корреляции r и относительная вероятная погрешность аппроксимации составили соответственно величины 0,62 при $r_{кр} = 0,15$ с уровнем надежности $P = 0,95$ и 9,52%.

На основе полученных результатов рассчитаны диагностические нормативы для общей загрязненности τ . На рисунке 1 представлены распределения величин τ для различных состояний дизелей Г70-5. Как следует из рисунка 1, области исправного (1) и дефектного (2) состояний существенно пересекаются. Для повышения надежности оценки по комплексу диагностических параметров нами вводилась зона неопределенности (зона отказа от распознавания), которая анализировалась затем методом последовательного статистического анализа Вальда [2]. По одному параметру такой анализ невозможен. Поэтому при выборе нормативов мы исходили из следующих соображений, графически представленных на рисунке 2.

Для однозначного принятия решения о дефектном состоянии дизеля и, следовательно, его разборки для ремонта следует установить предельный норматив τ_α в 800 единиц при ошибке первого рода $d = 0,05$ «ложная тревога». При этом с вероятностью $P = 1 - \alpha = 0,95$ выносится решение о дефектном состоянии дизеля. Приблизительно такое же значение норматива имеет величина $\tau = 790$ ед., рассчитанная по уравнению

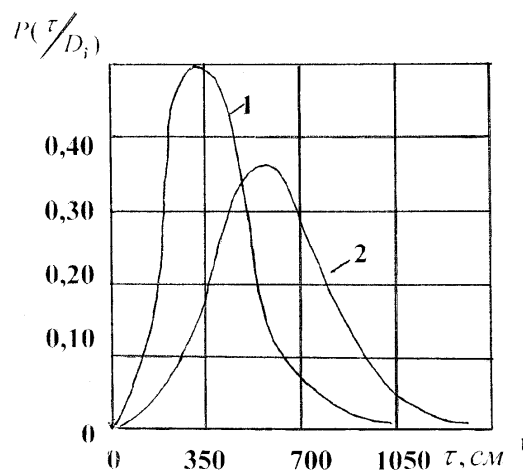


Рисунок 1 – Плотности распределений величин в масле М10В2 для различных состояний дизелей Г70-5

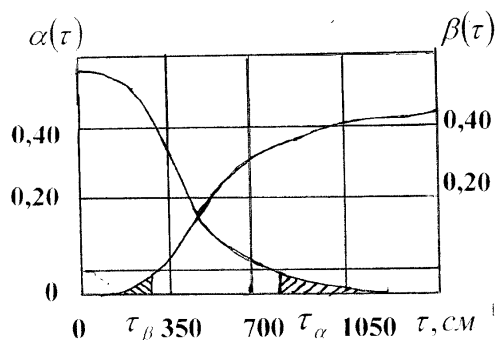


Рисунок 2 – Распределение вероятностей ошибок принятия решений о состоянии дизелей Г70-5 по величинам τ

регрессии (5) при предельной величине концентрации железа, равной 120 г/т.

Этот же норматив следует применять и для решения о смене масла (бра-ковочный параметр масла).

Допустимый норматив τ в 300 единиц при ошибке второго рода «пропуск дефекта» позволяет с вероятностью $P = 1 - \beta = 0,95$ вынести решение об исправности как деталей ЦПГ, так и работоспособности масла. При превышении величинами τ норматива τ_{β} следует усилить теплотехнический контроль за дизелем, что дополнит информацию о состоянии дизеля.

Выводы.

1 В современных рыночных условиях возникает потребность в использовании простых приборов и методов технического диагностирования, позволяющих дать надежную оценку о состоянии дизеля в процессе эксплуатации.

2 Обоснована возможность использования для оценки деталей ЦПГ двигателя общей загрязненности масла τ .

3 Проведен обоснованный расчет диагностических нормативов τ для оценки состояния деталей ЦПГ и качества работающего масла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Мироненко, И.Г. Обеспечение безопасности эксплуатации речных судов / И.Г. Мироненко // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№2. -С. 225-228.

2 Викулов, С.В. Оценка и анализ технического состояния главных дизелей речных судов по параметрам смазочного масла: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.В. Викулов; Одес. ин-т инженеров мор. флота. -Одесса, 1985. -19 с.

3 Викулов, С.В. Анализ основных направлений теории прогнозирования / С.В. Викулов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№2. -С. 178-179.

4 Ломухин, В.Б. Совершенствование системы диагностирования судовых дизелей по параметрам смазочного масла: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.Б. Ломухин; Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2002. -17 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *судовой дизель, техническое состояние, общая загрязненность масла, техническая диагностика, трибология*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Викулов Станислав Викторович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ ЦПГ (ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ) СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ ПО ОБЩЕЙ ЗАГРЯЗНЁННОСТИ МАСЛА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.В. Викулов

PREDICTING THE RESIDUAL LIFE OF CPG PARTS (CYLINDER-PISTON) MARINE DIESEL ENGINE FOR THE TOTAL OIL CONTAMINATION

«Novosibirsk state academy of water transport»
S.V. Vikulov

A mathematical model for predicting the residual life of cylinder liners of diesel on the total oil contamination. We propose a predictive formula.

Keywords: *marine diesel, the total oil contamination, forecasting, mathematical model*

Разработана математическая модель прогнозирования остаточного ресурса цилиндровых втулок дизеля по общей загрязнённости масла. Предложена прогнозная формула.

В работе [1] оценена взаимосвязь между техническим состоянием ЦПГ дизеля и общей загрязнённостью масла τ . Показано, что τ является достаточно информативным параметром для оценки износа цилиндровых втулок дизелей Г70-5, наряду с концентрацией железа в масле.

Эффективность диагностических программ существенно возрастает, когда при том же содержании контрольных операций решается задача прогнозирования изменения состояния объекта в будущие моменты времени. В этом случае алгоритм диагностирования дополняется алгоритмом решения задачи прогнозирования, а это требует разработки методов прогноза, использующих разнообразный математический аппарат и учитывающих особенности объекта прогнозирования [2, 3].

Целью настоящей работы является разработка на основе полученных ранее результатов [1-3] математической модели прогнозирования остаточного ресурса цилиндровых втулок дизелей Г70-5 по общей загрязнённости масла. Ниже изложены основные результаты такой разработки.

При прогнозировании по средним величинам параметра установившийся износ деталей в период нормальной эксплуатации можно представить линейной регрессионной моделью

$$U_{cp} = g_{cp} \cdot t_{np}, \quad (1)$$

где g_{cp} – средняя скорость износа детали случайной величины $g(t)$, мм/тыс.ч;

t_{np} – наработка двигателя на момент прогнозирования, тыс.ч.

Для совокупности исправных дизелей нами получена довольно тесная корреляционная зависимость между скоростью изнашивания цилиндровых втулок, определяемой посредством микрометража, и средней концентрацией железа в масле, определяемой методом спектрального анализа [2]

$$g_{cp} = 7,64 \cdot 10^{-4} \cdot K_{cp}, \quad (2)$$

где K_{cp} – средняя концентрация железа в масле по выборке исправных дизелей, г/т.

Коэффициент корреляции модели (2) $r = 0,912$, а средняя относительная ошибка аппроксимации $\delta g_{cp} = 9,5\%$ с надёжностью $P = 0,95$.

Принимая во внимание сезонность работы судов речного флота Сибири и Дальнего Востока, локальный прогноз целесообразно осуществлять на период навигации. При средней навигационной наработке дизелей Г70-5 теплоходов «ОТ-2000» условиях Западно-Сибирского речного пароходства $t_n = 3,5$ тыс.ч величина допустимого износа составит величину

$$U_{доп} = g_{доп} \cdot t_n, \quad (3)$$

где $g_{доп}$ – допустимая скорость износа втулки, мм/тыс.ч.

Величина остаточного ресурса при глобальном прогнозировании определится разностью полного (располагаемого) ресурса и фактически выполненной наработкой на момент прогнозирования

$$t_{ост} = t_{пол} - t_{np} = \frac{U_{доп}}{g_{cp}} - t_{np}, \quad (4)$$

где $t_{пол}$ – располагаемый ресурс при данной скорости износа g_{cp} на момент прогнозирования t_{np} , тыс.ч.

С учётом формул (2) и (3) прогнозная формула (4) примет вид

$$t_{ост} = \frac{K_{доп} \cdot t_n}{K_{cp}} - t_{np}, \quad (5)$$

где $K_{доп}$ – допустимая величина средней концентрации железа, г/т.

В работе [2] нами был обоснован выбор величины $K_{доп} = 80$ г/т. При этом коэффициент избыточности при установленной ошибке второго рода («пропуск дефекта») $\beta_{ycm} = 0,10$ составил величину $k = 1,6$, а фактическая достоверность прогноза по опыту эксплуатации равна 87%.

На основе полученной в работе [1] регрессионной модели вида

$$\tau = 98,21 + 5,77 \cdot K_{\tau e}, \quad (6)$$

рассчитаем допустимую величину общей загрязнённости $\tau_{доп}$ при $K_{доп} = 80$ г/т.

Получим $\tau_{доп} = 560$ единиц. Этому значению τ соответствует величина ошибки второго рода $\beta = 0,09$ [1].

Выразим из выражения (6) концентрацию железа в масле и представим величины их средними значениями, получим

$$K_{cp} = 0,173 \tau_{cp} - 17,021.$$

Полученное выражение, а также величины $K_{доп} = 80$ г/т; $t_n = 3,5$ тыс.ч подставим в прогнозную формулу (5)

$$t_{ост} = \frac{80 \cdot 3,5}{0,173 \tau_{cp} - 17,021} - t_{пр}.$$

Произведя вычисления в этой формуле, окончательно получим прогнозную формулу для расчёта остаточного ресурса по средней общей загрязнённости масла

$$t_{ост} = \frac{280}{0,173 \tau_{cp} - 17,021} - t_{пр}. \quad (7)$$

Апостериорные расчёты по формуле (7) подтвердили высокую достоверность постановки диагноза (89%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Викулов, С.В. Трибологическая оценка состояния судовых дизелей по общей загрязнённости масла / С.В. Викулов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. -С.289-292.

2 Викулов, С.В. Алгоритм прогнозирования остаточного ресурса ДВС по концентрации продуктов износа в смазочном масле / С.В. Викулов // Сиб. науч. вестн. -2007. -№10. -С. 138-142.

3 Викулов, С.В. Анализ основных направлений теории прогнозирования / С.В. Викулов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№2. -С. 178-179.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *судовой дизель, общая загрязнённость масла, прогнозирование, математическая модель*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Викулов Станислав Викторович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГавт»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»*

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЕМ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
ТОО «ЭНСИ-Технологии»

А.И. Елшин, С.Л. Собин, С.С. Прудников

THE SYSTEM CONTROL OF ELECTRIC HEATING
«Novosibirsk state academy of water transport»
«ENSI-technologies»
A.I. Elshin, S.L. Sobin, S.S. Prudnikov

The article discusses the system control of electric heating for one-phase inductive-conductive heater. The circuit control and function of heating are given.

Keywords: electric heating, temperature, control

Рассмотрена система управления электроотоплением на базе однофазного индуктивно-кондуктивного нагревателя. Приведена схема управления нагревом, дано описание работы и условия выполнения команд электронным коммутатором.

Одной из наиболее важных и сложных проблем в развитии экономики является проблема энергосбережения, повышения эффективности производства тепловой энергии. В настоящее время горячее водоснабжение и обогрев жилых и промышленных помещений в крупных городах и промышленных центрах осуществляется с помощью таких источников тепловой энергии, как ТЭЦ, в небольших городах и поселках – с помощью котельных и печного отопления. Особенно остро стоит проблема получения тепла в небольших населенных пунктах и фермерских хозяйствах, удаленных от тепломагистралей. Традиционные источники тепловой энергии обладают рядом существенных недостатков: низкий КПД, определенные сложности в доставке тепла потребителю и т.д. Необходимость строительства ТЭЦ и котельных в непосредственной близости от потребителя ухудшает экологическую обстановку в жилых микрорайонах. Поэтому представляет значительный интерес получение горячей воды и непосредственный обогрев таких объектов с помощью электронагрева, реализация которого не требует значительных капиталовложений, строительных работ и постоянного обслуживающего персонала.

Наиболее распространенными типами электронагревательных устройств являются установки, выполненные на основе трубчатых нагревательных элементов (ТЭН), электродные электроводонагреватели, электронагреватели с открытыми тепловыделяющими элементами и установки индукционного нагрева. Основными недостатками этих видов электроприборов являются их низкая надежность и недостаточный уровень безопасности в эксплуатации. Одним из наиболее эффективных путей повышения надежности и безопасности систем децентрализованного горячего водоснабжения и отопления небольших промышленных и сельскохозяйственных предприятий и бытового сектора является применение в качестве нагревательных элементов однофазных и трехфазных трансформаторов с вторичной обмоткой, являющейся тепловыделяющим элементом -индуктивно-кондуктивные нагреватели (ИKN).

Анализ производства и применения установок электронагрева в стране и за рубежом, прогнозов развития теплотехники и тенденций развития технического уровня электронагревателей отмечено развитие разработок широкого спектра электронагревательных приборов. Такие приборы должны обеспечивать высокую степень защиты от поражения электрическим током, иметь простую и технологичную конструкцию, большой срок службы, невысокую стоимость, хорошие эксплуатационные и массогабаритные показатели, высокий КПД и коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,98-0,99$.

Особенно важно эффективное управление электронагревателями при их работе в составе децентрализованных систем энергообеспечения с автономными источниками электропитания.

В настоящее время подавляющее большинство электронагревательных приборов оснащаются устройствами регулирования мощности или температуры.

На систему управления устройством питания электронагревательных приборов возлагаются следующие задачи:

- защита потребителя от поражения электрическим током;

- защита нагревательного элемента и цепей преобразователя от повышенного напряжения сети;
- отключение при аварийных режимах работы (для водонагревателей - отключение при сухом ходе);
- обеспечение плавного пуска;
- поддержание интенсивности нагрева или температуры нагреваемого объекта на уровне, заданном пользователем;
- индикация заданного и достигнутого уровня температуры;
- стабилизация мощности нагрева при повышении/понижении напряжения питающей сети.

К схемам управления, кроме того, предъявляются такие традиционные требования, как технологичность и возможность ремонта, низкая себестоимость, минимальная масса и габариты, экономичность, безопасность, надёжность и т.д.

Устройство управления должно осуществлять отключение электронагревателя и запрет на повторное включение в следующих случаях:

- при выходе из строя (замыкание или пробой с последующим обрывом) любого из элементов преобразователя напряжения;
- при отсутствии объекта нагрева (для нагревателей жидких сред - сухой ход);
- при пробое межвитковой изоляции;
- при пробое изоляции между первичной и вторичной обмотками.

В зависимости от планируемой стоимости и категории потребителя каждая из указанных неисправностей может сопровождаться индикацией.

Необходимость обеспечения плавного пуска индуктивно-кондуктивного нагревателя (ИКН) обусловлена характерным для трансформатора переходным процессом при подключении его к сети. Возникающие при этом ударные токи и перенапряжения отрицательно сказываются на состоянии изоляции, оказывают влияние на питающую сеть и должны быть, по возможности, снижены. Это может быть достигнуто следующим способом: включение производится в строго определённый момент времени.

С учётом вышеизложенного, возможная структурная схема управления однофазным электронагревателем индуктивно-кондуктивного типа показана на рисунке 1.

Для управления мощностью нагревательного элемента индуктивно-кондуктивного типа на промышленной частоте наиболее целесообразно использование двухпозиционного регулирования. Для реализации этого способа регулирования применяют электронный коммутатор, включённый в цепь первичной обмотки. В качестве такого коммутатора может быть использован симметричный тиристор (симистор) или пара тиристов, включённых встречно-параллельно.

Для устранения бросков тока в обмотках индуктивно-кондуктивного нагревателя включение и отключение нагрузки желательно осуществлять в момент перехода первичного тока через нуль. Развитие современной элементной электронной базы и микропроцессорной техники позволяет реализовать блок регулятора с заданными характеристиками. Для защиты по току и пробое изоляции используют стандартные реле комплексной защиты и устройства защитного отключения. Для измерения температуры используется цифровой интегральный термометр, выполненный в виде микросхемы с выводом значения температуры по интерфейсу в цифровом виде. В качестве аварийного датчика используется электроконтактный биметаллический датчик. Датчик напряжения – понижающий трансформатор напряжения. На экране блока индикации могут быть отображены все режимы, значения заданных параметров температуры и аварийных сигналов.

Режим стабилизации мощности работает по принципу ступенчатой коррекции напряжения, осуществляемой переключением отводов обмотки ИКН с помощью симисторных ключей под управлением микропроцессора, следящего за уровнем напряжения в сети. После включения автомата напряжение сети поступает на блок питания блока управления и микропроцессор начинает работать по заданной программе. Микропроцессор анализирует напряжение сети, и если оно находится в пределах $-30...+20\% U_n$ В, в зависимости от результатов измерения открывает один из 4-х симисторов, тем самым подключая один из шести отводов ИКН. Если напряжение ниже $-30\% U_n$ В или выше $+20\% U_n$ В, нагреватель обесточивается. Как только напряжение войдет в диапазон $-30...+20\% U_n$ В, ИКН вновь будет подключен.

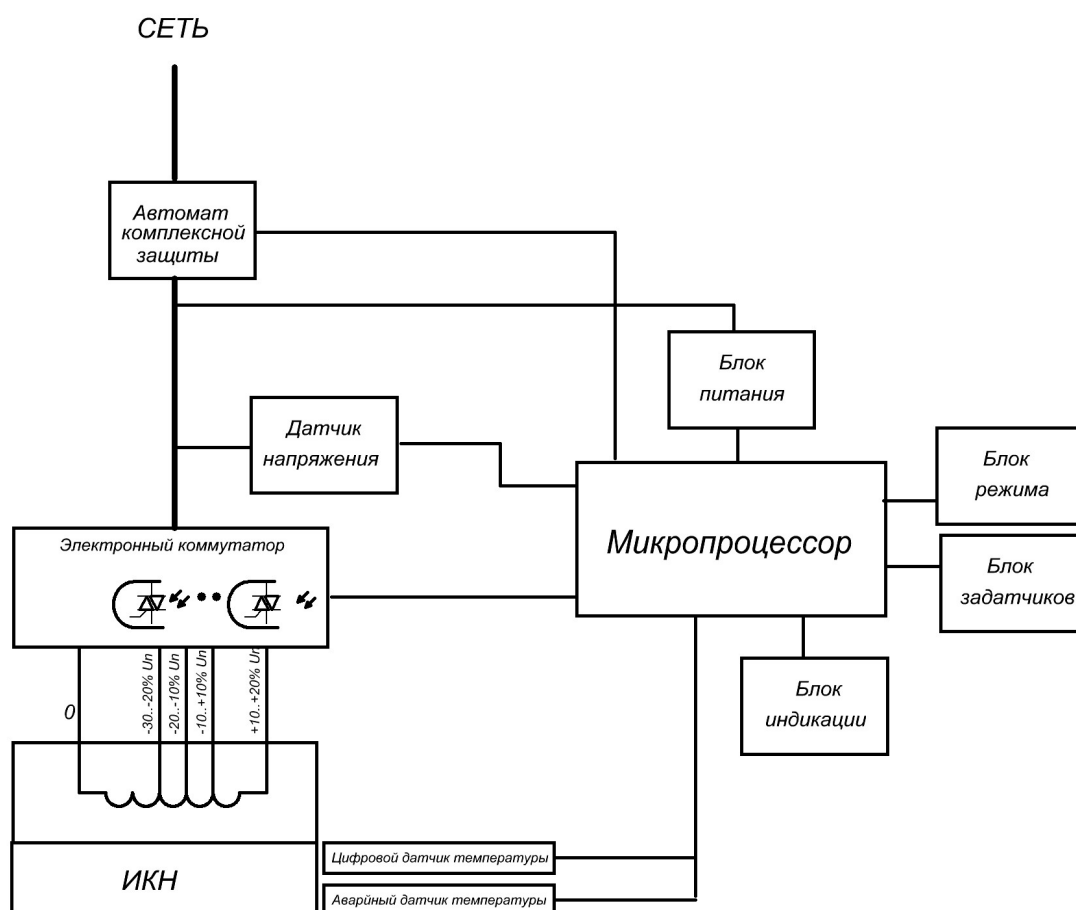


Рисунок 1 – Схема управления нагревом

В случае пропадания напряжения сети и последующего появления, микропроцессор автоматически перезагружается и вновь подключает ИКН.

Гальваническая развязка симисторов с микропроцессором осуществляется оптопарами. В процессе регулирования открывающий импульс снимается с включенного симистора и подается на другой симистор в момент перехода синусоиды через «0», исключая тем самым «токовые удары» в обмотках и симисторах. Это достигается за счет того, что за один период синусоиды микроконтроллер измеряет состояние амплитуды сетевого напряжения 100 раз. Осциллограмма этого процесса приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Осциллограмма микроконтроллера

Необходимая температура нагрева T °С и скважность температуры Δt устанавливается в блоке задатчиков. Как только температура нагрева достигнет заданной, микропроцессор отключит ИКН от сети. При снижении температуры на величину заданной Δt микропроцессор подключит ИКН к сети.

При возникновении короткого замыкания, виткового замыкания и тока утечки в изоляции ИКН будет отключен от сети автоматом комплексной защиты.

Предложенная схема может легко быть преобразована для трехфазного ИКН.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электроотопление, температура, управление
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Елишин Анатолий Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Собин Сергей Леонидович, канд. техн. наук, директор ТОО «ЭНСИ-технологии»
Прудников Сергей Сергеевич, аспирант-стажер ФГОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»
140500, Казахстан, г. Степногорск, 7 микрорайон, 28-37, ТОО «ЭНСИ-технологии»

ОПЕРАТИВНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ГИБРИДНЫМ МЕТОДОМ

**Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
филиал ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей
сообщения»**

Н.В. Раевский, В.Г. Литвинцев

AN OPERATIVE ELECTRICITY CONSUMPTION FORECASTING BY MEANS OF HYBRID METHOD
Zabaikalsky railway transport institute, branch «Irkutsk state transport university»
N.V. Rajewsky, V.G. Litvintsev

A train traction electricity consumption forecasting method in a possible uncertainty of primary data is suggested. The authors put forward an operative forecasting technology by means of hybrid method based on the expert decision.

Keywords: train traction electricity consumption forecasting, interval regression, confidence interval

Предложен метод прогнозирования электропотребления на тягу поездов в условиях возможной неопределенности исходных данных на основе интервальной регрессии. Показана технология оперативного прогнозирования гибридным методом с учетом экспертного решения.

Существует большое количество методов прикладной математической статистики в ситуации, когда результатом прогнозирования какой-либо величины – не число, а интервал, в частности, порожденный наложением ошибок измерения на значения случайных величин [1]. Одним из них – интервальный регрессионный анализ. Основной его идеей является нахождение влияния погрешностей измерений и наблюдений на свойства алгоритмов регрессионного анализа и составление интервального уравнения для прогнозирования заданного параметра с учетом неопределенности и неточности выборочных данных.

Постоянные ошибки при прогнозировании потребления электрической энергии на тягу поездов с учетом параметров движения могут возникать в ходе сбора информации по системе АСКУЭ и АСОУП. Причинами таких неточностей при ведении базы данных об электропотреблении (ЭП) могут быть несвоевременность снятия показаний со счетчиков электрической энергии тяговых подстанций, несовершенство учета ЭЭ, работа счетчиков ЭЭ и трансформаторов тока и напряжения вне своего класса точности, сбои в работе автоматизированной системы ведения и анализа графика исполненного движения (ГИД), субъективные причины. Неточности при ведении базы данных о перевозках могут иметь место в результате некорректного ведения графиков движения поездов диспетчерами, непредсказуемости коммерческих перевозок.

Необходимым условием для прогнозирования электропотребления на тягу поездов предлагаемым методом является составление интервальной множественной регрессионной модели, а также выбор влияющих на ЭП факторов.

Технология прогнозирования электропотребления на тягу поездов предлагаемым методом показана на примере Забайкальской железной дороги. Согласно ГИД дорога делится на три крупных поездоучастка: Петровский Завод-Шилка, Шилка-Уруша, Уруша-Буря. После предварительного анализа полученных данных самым показательным участком с точки зрения большого уровня отпуска электрической энергии на тягу поездов и грузонапряженности выбран полигон в границах Петровский Завод-Шилка, входящий в состав Читинской энергосистемы. Данный участок питают двенадцать тяговых подстанций. По этим причинам рассматриваемый полигон выбран в качестве примера для дальнейшего анализа.

Для оценки степени влияния факторов на тяговое электропотребление W_T была собрана статистическая информация почасовых значений количества одновременно находящихся на участке поездов, средней массы поездов, средней участковой скорости движения, грузооборота участка по выбранному участку за 2009 год [2]. В результате корреляционно-

регрессионного анализа из всего многообразия эксплуатационных показателей выбраны два основных статистически значимых фактора – грузооборот $\sum p \times L$ и количество поездов, находящихся на участке N .

Пользуясь почасовыми данными за 3 февраля 2009 г. по участку, определено уравнение множественной регрессии, являющееся основным прогностическим выражением при построении интервальных значений электропотребления на тягу поездов

$$W_T = 21586,37 + 7,53(\sum pL) + 225,81N + \varepsilon. \quad (1)$$

В этом выражении ε показывает наличие погрешностей, порождаемые неточностями при сборе информации. Прежде чем перейти к доверительным интервалам для индивидуальных прогнозных значений зависимой переменной W_{T0}^* , следует полученное выражение подвергнуть тщательному анализу. Для этого определены средняя ошибка аппроксимации, коэффициент эластичности, коэффициент детерминации, коэффициент F -критерия Фишера-Снедекора, выборочная остаточная дисперсия, выборочное среднее квадратическое отклонение, среднее квадратическое отклонение (стандартная ошибка) коэффициентов регрессии, парные коэффициенты корреляции; проверена значимость коэффициентов регрессии b_j в сравнении с табличным t -критерием и значимость коэффициентов корреляции Стьюдента [3].

Следует отметить, что по каждому наблюдению в рассматриваемые сутки февраля выявлена высокая степень статистической значимости всех линейных многофакторных уравнений и параметров регрессионного анализа.

После составления уравнения множественной линейной регрессии и анализа всех его параметров, необходимо перейти к построению доверительного интервала для прогностической функции и ее коэффициентов с уровнем надежности $p = 0,95$.

Таким образом, доверительный интервал для индивидуальных прогнозных значений зависимой переменной W_{T0}^* , определенной по (1), будет

$$\hat{W}_{T0} - t_{1-\alpha/2; n-p-1} \cdot s_{\hat{W}_{T0}} \leq W_{T0}^* \leq \hat{W}_{T0} + t_{1-\alpha/2; n-p-1} \cdot s_{\hat{W}_{T0}}; \quad (2)$$

$$s_{\hat{W}_{T0}} = s \sqrt{1 + X_0' (X'X)^{-1} X_0};$$

где $X_0' = (1, x_{10}, x_{20}, \dots, x_{p0})$ – вектор задаваемых экспертом планируемых значений грузооборота и количества поездов на предстоящие сутки.

Для составления интервального прогностического уравнения необходимо задаться плановыми параметрами грузооборота и количества поездов на предстоящие сутки за каждый час и составить матрицу задаваемых переменных X_0' .

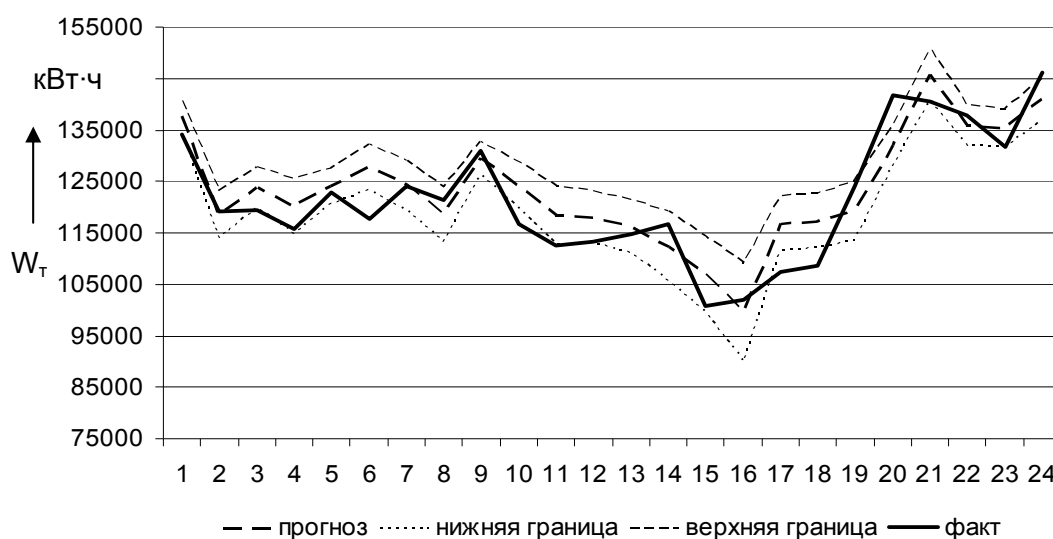


Рисунок 1 – График прогноза электрической энергии на тягу поездов на 4 февраля 2009 года

Тогда в нашем случае на основе ранее полученного уравнения (1) и выражения (2) получен почасовой интервальный график прогнозирования на следующие сутки (4 февраля), приведенный на рисунке 1, с указанием доверительных границ планируемой величины в

сравнении с фактическим электропотреблением.

Анализируя график, можно сказать, что фактическое значение электропотребления за 4 февраля 2009 г. практически попадает в коридор прогностической функции с доверительной вероятностью $p = 0,95$. При этом ошибка прогнозирования в среднем за сутки составляет $-1,62\%$. Стоит отметить, что, если график прогноза электропотребления совпадет с нижней границей доверительного интервала, то ошибка прогнозирования ЭП будет $2,54\%$ ($72329,02 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$), а если с верхней границей, то составит $-5,4\%$ ($166303,35 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$).

Вследствие того, что невозможно точно построить график фактического ЭП на сутки вперед, то в рассматриваемом случае целесообразнее будет планировать потребление электроэнергии ближе к средней линии доверительного интервала. Для остальных дней всех месяцев проведены аналогичные расчеты. В качестве примера приведена гистограмма ошибок прогнозирования за февраль 2009 года (рисунок 2).

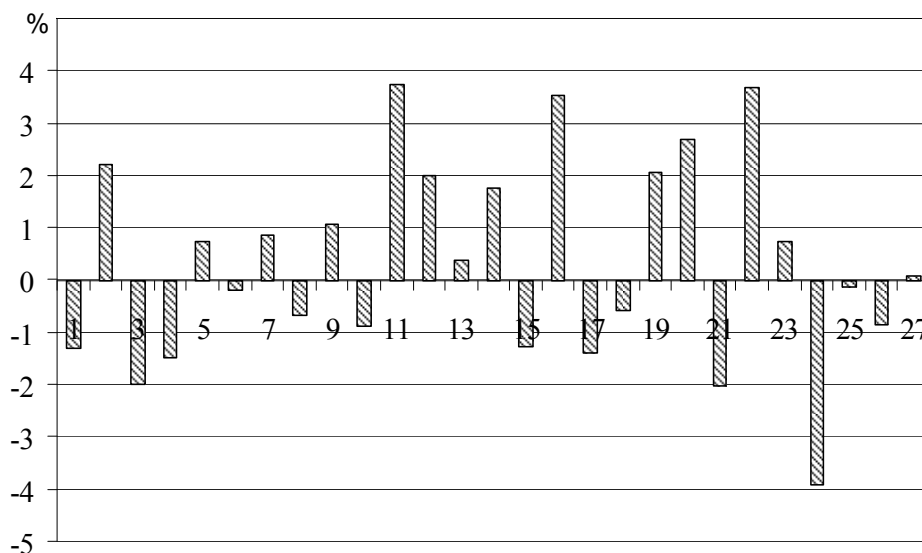


Рисунок 2 – Ошибки прогнозирования электрической энергии на тягу поездов за февраль по участку Петровский Завод-Шилка

Необходимо заметить, что среднесуточные ошибки за все месяцы 2009 года не выходят за предел $1,5-2,0\%$, что говорит о высокой точности прогнозирования электропотребления на тягу поездов методом интервальной регрессии на основе планов грузооборота по участку.

Следует отметить, что одной из важных особенностей краткосрочного и оперативного прогнозирования потребления ЭЭ на тягу поездов данным методом является то, что эксперт вправе сам принимать решение о том, в каком интервале построенного доверительного коридора или вне его он может прорисовывать канву графика электропотребления на предстоящие сутки. Это зависит от экономической ситуации региона или страны в целом, условий эксплуатации участка железной дороги (незапланированные «окна», резкое снижение грузооборота по сравнению с предстоящими сутками, резкое снижение температуры окружающей среды и др.). Предлагается для снижения величины ошибки прогноза использовать гибридный метод на основе интервальной регрессии и с учетом экспертного решения. На рисунке 3 представлен фрагмент суточного графика прогноза ЭЭ на первые три часа с указанием прогнозного значения ЭП и доверительных границ. На Забайкальской железной дороге счетчики тяговых подстанций по системе АСКУЭ опрашиваются каждые полчаса. Следовательно, в начале расчетных суток эксперт по показаниям АСКУЭ в первые полчаса (рисунок 3) может сделать вывод о том, ближе к какой границе интервала в следующие полчаса будет находиться фактическое значение ЭП и запланировать объем поставки электрической энергии на первый отчетный час. В этом случае плановое значение ЭЭ может не совпадать с фактическим значением ЭП. Тогда появляется ошибка прогноза. Но она окажется меньше, чем, если бы эксперт поставил на графике точку «план» без предварительных показаний АСКУЭ. Ведь эту точку в рассматриваемом случае он мог бы поставить либо ближе к линии прогноза, либо к верхней границе доверительного интервала. Аналогичным образом проводится планирование ЭП на следующие часы расчетных суток. Однако если эксперт прорисует линию планируемого электропотребления, ограничиваясь только доверительным коридором, то ошибка прогноза также не будет превышать допустимые пять процентов.

Рассматриваемый метод дает гибкость и надежность оценки планируемого значения электропотребления в течение суток или на сутки вперед с разбивкой по часам.

После проверки сформулированной модели на адекватность разработан программный продукт прогнозирования потребления ЭЭ на тягу поездов в программе Perl. Программа позволяет рассчитывать прогноз электропотребления на следующие сутки на основании данных АСКУЭ и ГИД с построением графика.

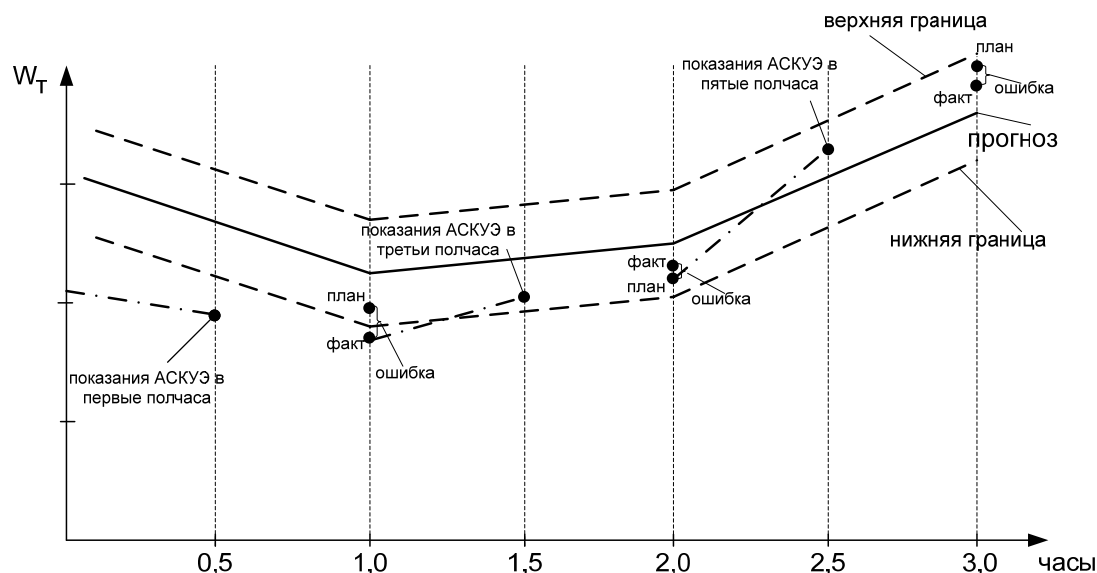


Рисунок 3 – Суточное прогнозирование ЭП гибридным методом

Выводы:

1 Разработана методика краткосрочного и оперативного прогнозирования электропотребления на тягу поездов на основе интервального регрессионного анализа, позволяющая снизить расходы на оплату электроэнергии за счет корректного формирования договорных величин заявленного электропотребления с погрешностью, не превышающую 1,5-2,0%;

2 Предложена технология оперативного прогнозирования тягового ЭП с учетом экспертного решения для гибкого и надежного оценивания планируемого значения электропотребления в течение суток или на сутки вперед с разбивкой по часам в условиях возможной некорректности исходной статистической информации.

3 Разработан программный продукт прогнозирования потребления ЭЭ на тягу поездов в программе Perl, позволяющий проводить планирование ЭП на следующие сутки на основании данных АСКУЭ и ГИД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Орлов, А.И. Эконометрика: учеб. пособие для вузов / А.И. Орлов. -М.: Экзамен, 2002. - 576 с.
- 2 Раевский, Н.В. Интервальное оценивание статистических данных при прогнозировании электропотребления на тягу поездов / Н.В. Раевский, Д.А. Яковлев, В.Г. Литвинцев // Ресурсосбережение и возобновляемые источники энергии: экономика, экология, опыт применения: по материалам I междунар. науч.-практ. конф. / Междунар. акад. экологии и безопасности жизнедеятельности. -СПб.; -Чита, 2008. -Т.13, -№3. -С. 67-69.
- 3 Кремер, Н.Ш. Эконометрика: учебник / Н.Ш. Кремер, Б.А. Путко. -М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. -311 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прогнозирование электропотребления на тягу поездов, интервальная регрессия, доверительный интервал

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Раевский Николай Владимирович, канд. техн. наук, доцент ЗаБИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ИрГУПС»
Литвинцев Виталий Геннадьевич, старший преподаватель ЗаБИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ИрГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 672040, г. Чита, пер. Магистральный, 11, ЗаБИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ИрГУПС»

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЯ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

ТОО «ЭНСИ-Технологии»

ООО Научно-инновационный центр «Индукционное машиностроение»

А.И. Елшин, С.Л. Собин, С.С. Прудников, Н.К. Ефимов, М.А. Дмитриева

THE EFFICIENCY OF ELECTRIC HEATING

«Novosibirsk state academy of water transport»

«ENSI-technologies»

Scientifically-innovative centre «Induction mechanical engineering»

A.I. Elshin, S.L. Sobin, S.S. Prudnikov, N.K. Efimov, M.A. Dmitrieva

The article discusses the effectiveness of electric heating in comparison with direct combustion of solid fuel in the individual heat generators and central heating. The feasibility of direct conversion of electricity into heat, to create comfortable conditions in residential buildings, is given in the comparative dependencies.

Keywords: electric heating, efficiency, heat

Рассмотрены вопросы эффективности электроотопления в сравнении с прямым сжиганием твердого топлива в индивидуальных теплогенераторах и централизованным отоплением. Приведены сравнительные зависимости, определяющие целесообразность прямого преобразования электроэнергии в тепло для создания комфортных условий в жилых зданиях.

Электроотопительные устройства, являющиеся составной частью электронагревательной техники, широко используются для создания комфортных условий существования человека с поддержанием оптимального теплового режима жилища. При благоприятном сочетании температуры воздуха в помещении, температуры ограждения здания, влажности воздуха терморегуляторная система организма находится в состоянии наименьшего напряжения, что оказывает существенное влияние на общее состояние, работоспособность человека и восстановление сил после рабочей нагрузки.

Установка электроотопления создает предпосылки для формирования экологически чистых зон не только в курортно-санаторных местностях, домах отдыха и спортивных лагерях, школах и лечебных учреждениях, но и в районах постоянного проживания людей и полностью устраняет воздействие продуктов сгорания топлива и вредных примесей на окружающую среду и человека. Одновременно с этим решается одна из важнейших экологических проблем, связанная с эксплуатацией местных котельных, печей и квартирных теплогенераторов, расположенных в непосредственной близости от жилых кварталов, – проблема загрязнения атмосферного воздуха оксидом азота (NO_x), сажей, оксидом углерода (CO), бенз(а)пиреном ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$) и т.д.

Доля электроэнергии, используемая для жизнеобеспечения человека в промышленно развитых странах, достигает 30-35% от национального производства электроэнергии, а установленная мощность электронагревательной техники в современном домашнем хозяйстве измеряется десятками киловатт в одном жилище. В бывшем СССР в 1985 году на бытовые нужды израсходовано 6% электроэнергии, а в современной Российской Федерации на электроотопление используется не более 2% электроэнергии.

Представляется актуальным использование электроэнергии для производства тепла на коммунально-бытовые нужды сельского населения, проживающего в рассредоточенных пунктах со значительным удалением от источников топлива, друг от друга, от центров теплофикации, в горных местностях, районах вечной мерзлоты и т.д.

Приобретает практическую значимость электроотопление жилых домов, школ, больниц в сельской местности, особенно в сибирских условиях, когда из-за низкой плотности теплопотребления централизованное теплоснабжение жилья по капитальным затратам и стоимости транспортировки энергоносителей несоизмеримо выше электроотопления.

Тепловые нагрузки рассредоточенных потребителей в Российской Федерации обеспечиваются мелкими котельными (10-15%), печами и квартирными теплогенераторами (85-90%). Расчётные значения технических данных мелких котельных и индивидуальных теплогенераторов показывают, что сжигание твердого топлива осуществляется с КПД, не более 55% [1,2]. Эта величина соответствует оптимальным условиям эксплуатации нового тепло-

генератора при непрерывном режиме со стабильными свойствами угля (влажность не более 8%, зольность не более 16-18%, размеры кусков 13-25 мм, содержание мелочи не более 20%).

Циклический характер сжигания топлива в печи предопределяет снижение КПД печи в периоды подсушки и разогрева топливного слоя, догорания остатков, занимающих около 50% времени горения. При этом среднециклический КПД при сохранении оптимальных условий горения лежит в пределах 35-40%.

При эксплуатации печи происходит осаждение сажи и твердых частиц продуктов сгорания топлива на теплообменных поверхностях и дымопроводах, что влечёт за собой увеличение термического сопротивления стен, снижение теплоотдачи, ухудшение тягодутьевых характеристик агрегата и, как следствие, уменьшение величины КПД до 25-30% и увеличение расхода топлива.

Существенное влияние на процесс горения оказывает качество угля. Различные свойства углей требуют корректировки процесса горения, что практически не удается осуществить в индивидуальных печах, а это приводит к перерасходу топлива и низкой эффективности теплообразования.

Обобщая вышесказанное, можно утверждать, что реальный КПД преобразования энергии угля в теплоту мелких котельных и индивидуальных теплогенераторов находится на уровне 15-20% при условии соблюдения правил эксплуатации и обслуживания.

Местная транспортировка угля к потребителю от центрального склада, трудозатраты по погрузке, выгрузке и складированию в хранилище, обеспечение охраны, загрузка печи и выгрузка отходов требуют дополнительных расходов, оцениваемых в настоящее время в сумму, равную стоимости угля, что также должно быть учтено при расчете и сравнении различных топливных систем на органическом топливе и электроотоплении.

С учетом сложившейся в данном регионе цены на уголь, можно определить стоимость, например, кузнецкого угля для производства 1 МДж тепла в печи частного дома [3, 4]

$$З_т = \frac{2Ц_т}{g_т \eta_т},$$

где $Ц_т$ – цена угля, руб./кг;

$g_т$ – удельная теплота сгорания топлива, МДж/кг;

$\eta_т$ – энергетический КПД печи.

Например, при $Ц_т = 0,6$ руб./кг; $g_т = 19-25$ МДж/кг, $\eta_т = 0,2$, стоимость затрат на производство 1 МДж тепла составит 0,32-0,24 рубля.

Для котельной с устаревшим оборудованием производство 1 МДж тепла потребует следующих затрат

$$З_т = k \frac{2Ц_т}{g_т \eta_т},$$

где k – коэффициент, учитывающий потери в тепловых сетях и расход теплоты на собственные нужды котельной, $k = 1,05-1,10$.

Затраты на топливо в этом случае для производства 1 МДж тепла составят 0,35-0,26 рублей.

Простые расчеты показывают, что использование этого количества угля на ТЭЦ позволило бы получить от 3,5 до 4,3 МДж тепла.

В целом, производство тепла на коммунально-бытовые нужды сельской местности (14,9-15,5% от общего тепла) требует почти в 2,5 раза больше угля, чем для производства 18,2% общего тепла, вырабатываемого ТЭЦ и крупными котельными.

Стоимость электроэнергии, необходимой для производства 1 МДж тепла

$$З_э = \frac{Ц_э}{\eta_э \cdot 3,6},$$

где $Ц_э$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.;

$\eta_э$ – энергетический КПД преобразователя электроэнергии в тепло, 95-97%.

Расчеты показывают, что при электроотоплении индивидуального дома затраты на производство 1 МДж тепла становятся сопоставимыми при стоимости электроэнергии 1 руб./кВт·ч.

Нетрудно определить паритет цен на электроэнергию и уголь, исходя из равенства за-

трат

$$\zeta_{\text{э}} = \zeta_{\text{т}} \frac{k \cdot 2 \cdot \eta_{\text{э}} \cdot 3,6}{g_{\text{т}} \cdot \eta_{\text{т}}}.$$

Этой зависимостью при определенной степени точности можно оценить предпочтительность электроотопления по отношению к использованию любых других видов топлива для обогрева жилища.

С другой стороны, расчет эффективности электроотопления можно провести на основе цен на тепловую и электрическую энергию в данном регионе. Например, в г.Усть-Кут Иркутской области цена на тепловую энергию для отопления в 2010 г. составляет 1665 руб./Гкал с НДС, для горячего водоснабжения – 1842,37 руб. Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии с НДС для предприятий равна 1,5 руб., для частных лиц – 0,63 руб. Стоимость электроэнергии для предприятий, необходимой для производства 1 Гкал тепла

$$z_{\text{э}} = \frac{\zeta_{\text{э}} \cdot 1163,8}{\eta_{\text{э}}} = 1837,58 \text{ руб.}$$

Эти затраты для потребителя соизмеримы с затратами на централизованное теплоснабжение, однако необходимо учесть существенные потери, связанные с эксплуатацией малоэффективных котельных, с большой протяженностью и неудовлетворительной изоляцией теплотрасс. Кроме прямых потерь тепла значительный объем финансирования требуется и для эксплуатации существующей традиционной системы отопления, а также для устранения постоянно возникающих аварийных ситуаций (вскрытия и ремонта теплотрасс, восстановления жилищного фонда после протечек). Существующая практика организации отопления и используемое устаревшее оборудование часто приводят к загрязнению окружающей среды и значительному ухудшению экологической ситуации в городах.

Для населения стоимость электроэнергии, необходимой для производства 1 Гкал тепла, составит

$$z_{\text{э}} = \frac{\zeta_{\text{э}} \cdot 1163,8}{\eta_{\text{э}}} = 771,78 \text{ руб.},$$

что экономически выгодно и в два раза дешевле централизованного отопления. Здесь появляется мощный фактор мотивации к экономии тепла в связи с эффективностью системы учета и контроля потребляемой электрической энергии.

Следовательно, переход на современное стационарное прямое электроотопление является одним из путей решения проблем отопления.

Известно, что энергетические ресурсы в Российской Федерации распределены неравномерно. Некоторые регионы, на территории которых построены мощные атомные или гидроэлектростанции, продают электроэнергию другим областям, а тарифы на своей территории ниже общероссийских. Для таких регионов, как Красноярский край, Иркутская и Мурманская области, использование электроотопления оказывается экономически оправданным. С учетом экологического ущерба от угольных источников тепла эффект окажется еще более существенным [5].

В 30-километровой зоне АЭС, где действуют льготные тарифы на электроэнергию, наиболее привлекательным является электроотопление зданий.

Экономически выгодным представляется использование электроотопления в районах Крайнего Севера, таких как Якутия, Магаданская обл., Чукотка, Эвенкия и т.п., работающие на привозном топливе. Можно существенно сократить объем северного топливного завоза, повысить качество и надежность теплоснабжения, устранить значительные тепловые потери и избавиться от затрат на устранение аварийных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Соснин, Ю.П. Отопление и горячее водоснабжение индивидуального дома: справ. пособие / Ю.П. Соснин, Е.Н. Бухаркин. -М.: Стройиздат, 1991. -184 с.
- 2 Ливчак, И.Ф. Квартирное отопление / И.Ф. Ливчак. -М.: Стройиздат, 1977. -119 с.
- 3 Елшин, А.И. Экономические предпосылки к использованию электроотопления / А.И. Елшин // Электронагреватели трансформаторного типа: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. техн. ун-т. -Новосибирск, 1997. -С. 5-8.
- 4 Елшин, А.И. Электроотопление в Сибири / А.И. Елшин // Экологически перспектив. системы и технологии: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. техн. ун-т. -Новосибирск, 1999. -Вып.3. -

C. 198-205.

5 Горбачев, В.С. Некоторые аспекты использования электроотопления в многоквартирных домах / В.С. Горбачев, Ц. Свизил // Proc. of the Fourth Intern. HVAC Forum On Heat&Vent Exhib., Moscow, 2002. -Р. 94-97.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электроотопление, эффективность, теплогенератор

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Елшин Анатолий Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавт»

Собин Сергей Леонидович, канд. техн. наук, директор ТОО «ЭНСИ-технологии»

Прудников Сергей Сергеевич, аспирант-стажер ФГОУ ВПО «НГавт»

Ефимов Николай Константинович, соискатель ФГОУ ВПО «НГавт»

Дмитриева Мария Анатольевна, экономист ООО НИЦ «ИНМАШ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

140500, Казахстан, г. Степногорск, 7 микрорайон, 28-37, ТОО «ЭНСИ-технологии»

630188, г. Новосибирск, ул. Станционная, 38, ООО НИЦ «ИНМАШ»

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ТОКА АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.Н. Аносов, В.М. Кавешников, В.Ф. Чернов

SYNTHESIS OPTIMAL CURRENT REGULATOR OF ACCUMULATOR COMBINED POWER PLANT OF ELECTRIC VEHICLE
«Novosibirsk state technical university»

V.N. Anosov, V.M. Kaveshnikov, V.F. Chernov

Some questions of synthesis of autonomous traction electric drive by analytical method of design optimal regulators are described. Structure diagrams of optimized system is obtained.

Keywords: electric vehicle, combined power plant, electric double layer capacitor

Рассмотрены вопросы синтеза системы тягового электропривода автономного транспортного средства методом аналитического конструирования оптимальных регуляторов. Получена структурная схема оптимизированной системы.

Истощение природных энергетических ресурсов и глобальное загрязнение окружающей среды вредными промышленными отходами, в большой мере связанное с постоянным ростом мирового автомобильного парка, делает актуальной проблему создания экологически безопасных с минимальным расходом энергии автотранспортных средств. Одним из наиболее перспективных путей решения этого вопроса является создание электромобиля.

В рамках данной работы рассматривается электромобиль с комбинированной энергетической установкой (КЭУ), состоящей из электропривода, аккумулятора и буферного накопителя энергии, функциональная схема которой представлена на рисунке 1. Как следует из рисунка 1, в схеме предусмотрена отрицательная обратная связь по току аккумуляторной батареи.

В качестве буферного накопителя используется электрохимический конденсатор (ЭХК), на который возложены функции стабилизации тока аккумуляторной батареи и запаса энергии при торможении. Систему необходимо оптимизировать по соответствующему критерию.

Показатель эффективности в теории автоматического управления формулируется в виде функционала качества J , требование минимизации или максимизации численного значения которого (в зависимости от физического смысла) на траекториях движений САУ

$$J \rightarrow \min(\max),$$

называют критерием оптимальности [1, 2].

Требуется определить оптимальное управление $u = u(\dot{x})$, минимизирующее функционал качества J .

По методу аналитического конструирования регуляторов задача управления заключается в переводе системы из начального состояния $x_i = a_i; i = 1, \dots, n$ при $t = 0$ в конечное при $x_i = 0$ при $t \rightarrow \infty$ [2].

В рамках данной работы задачей синтеза является минимизация джоулевых потерь в КЭУ.

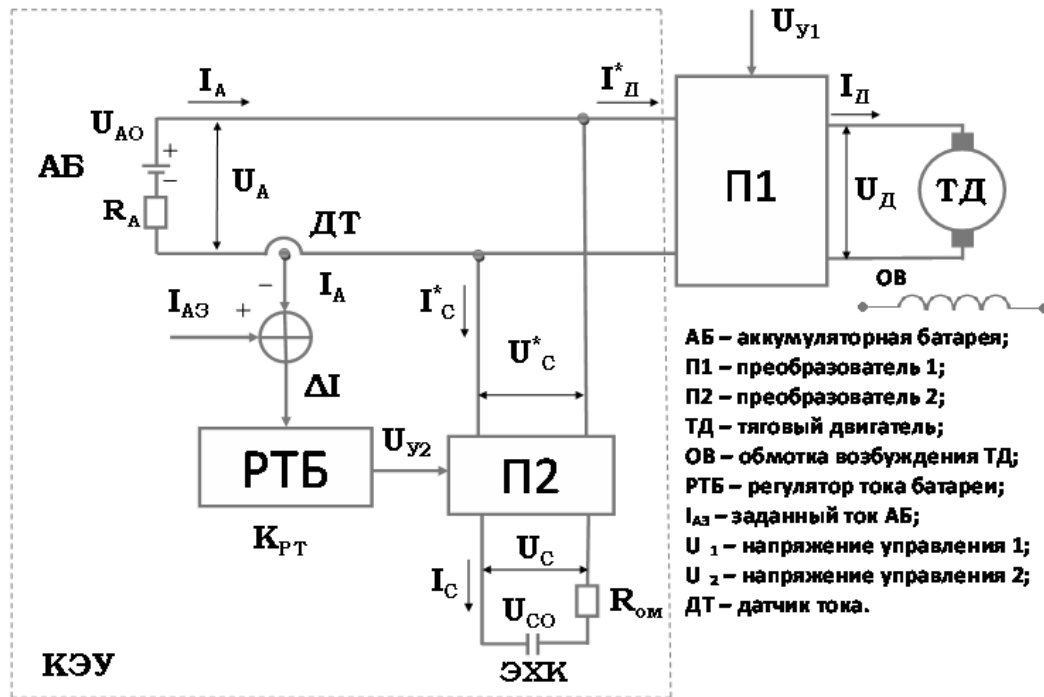


Рисунок 1 – Функциональная схема силовой части тягового электропривода электромобиля с комбинированной энергетической установкой

Функционал качества имеет следующий вид:

$$J = \int_0^t (i_A^2 \cdot R_A + i_D^{*2} \cdot R_D + u) dt, \quad (1)$$

где i_A – ток АБ;

R_A – сопротивление АБ;

i_D^* – ток П1.

Уравнения КЭУ, приведенные к форме Коши:

$$\begin{cases} \frac{di_D^*}{dt} = E \cdot i_D^* + F \cdot u + G; \\ \frac{di_A}{dt} = (E - H) i_D^* + H \cdot i_A + F \cdot u + G, \end{cases} \quad (2)$$

$$E = -\frac{1}{L} R_D; F = -\frac{U_1^2 \cdot R_A}{L \cdot k_{PT}}; G = \frac{1}{L} U_1 (U_1 \cdot U_{A0} - U_1 \cdot I_{A3} \cdot R_A - c \Phi_H \omega); H = 2 R_C c; u = U_2,$$

где L – индуктивность двигателя;

R_D – сопротивление двигателя;

R_A – сопротивление АБ;

k_{PT} – коэффициент передачи регулятора тока;

U_{A0} – начальное напряжение АБ;

R_C – сопротивление ЭХК;

c – емкость ЭХК.

Систему (2) для удобства приведем к виду:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = E \cdot x_1 + F \cdot u + G; \\ \dot{x}_2 = (E - H) x_1 + H \cdot x_2 + F \cdot u + G, \end{cases} \quad (3)$$

где $x_1 = i_D^*$; $x_2 = i_A$.

Уравнение Эйлера в данном случае имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f_0}{\partial x_1} + \frac{\partial f_0}{\partial x_2} &= 0; \\ f_0 &= i_A^2 \cdot R_A + i_D^{*2} \cdot R_D + u, \end{aligned} \quad (4)$$

где R_d^* – сопротивление П1 и ТД.

В результате решения системы, получим управляющее воздействие u вида:

$$u = i_A \cdot k_1 + \dot{i}_A \cdot k_2 - \frac{G}{F}, \quad (5)$$

где k_1 – коэффициент обратной связи тока АБ,

$$k_1 = \frac{\frac{R_A}{R_D^*} E + \frac{R_A}{R_D^*} (E - H) + H}{2F};$$

k_2 – коэффициент обратной связи производной тока АБ,

$$k_2 = \frac{\frac{R_A}{R_D^*} + 1}{2F}.$$

Структурная схема системы КЭУ с оптимальным по критерию минимума потерь регулятором представлена на рисунке 2.

Для минимизации потерь необходимо кроме уже предусмотренной обратной связи по току подключить обратную связь по производной тока АБ.

Развернутая структурная схема показана на рисунке 3. В подсистеме «ионистор» учтена разряженность ЭХК в процессе эксплуатации. Структурная схема подробно рассмотрена в [3].

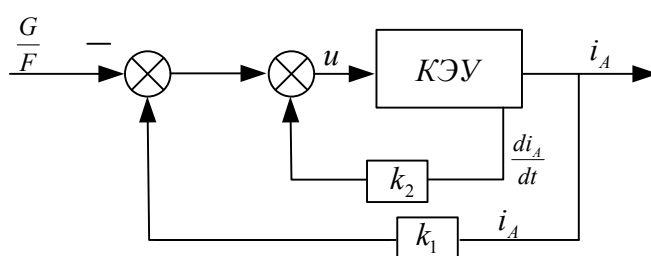


Рисунок 2 – Структурная схема оптимального регулятора КЭУ

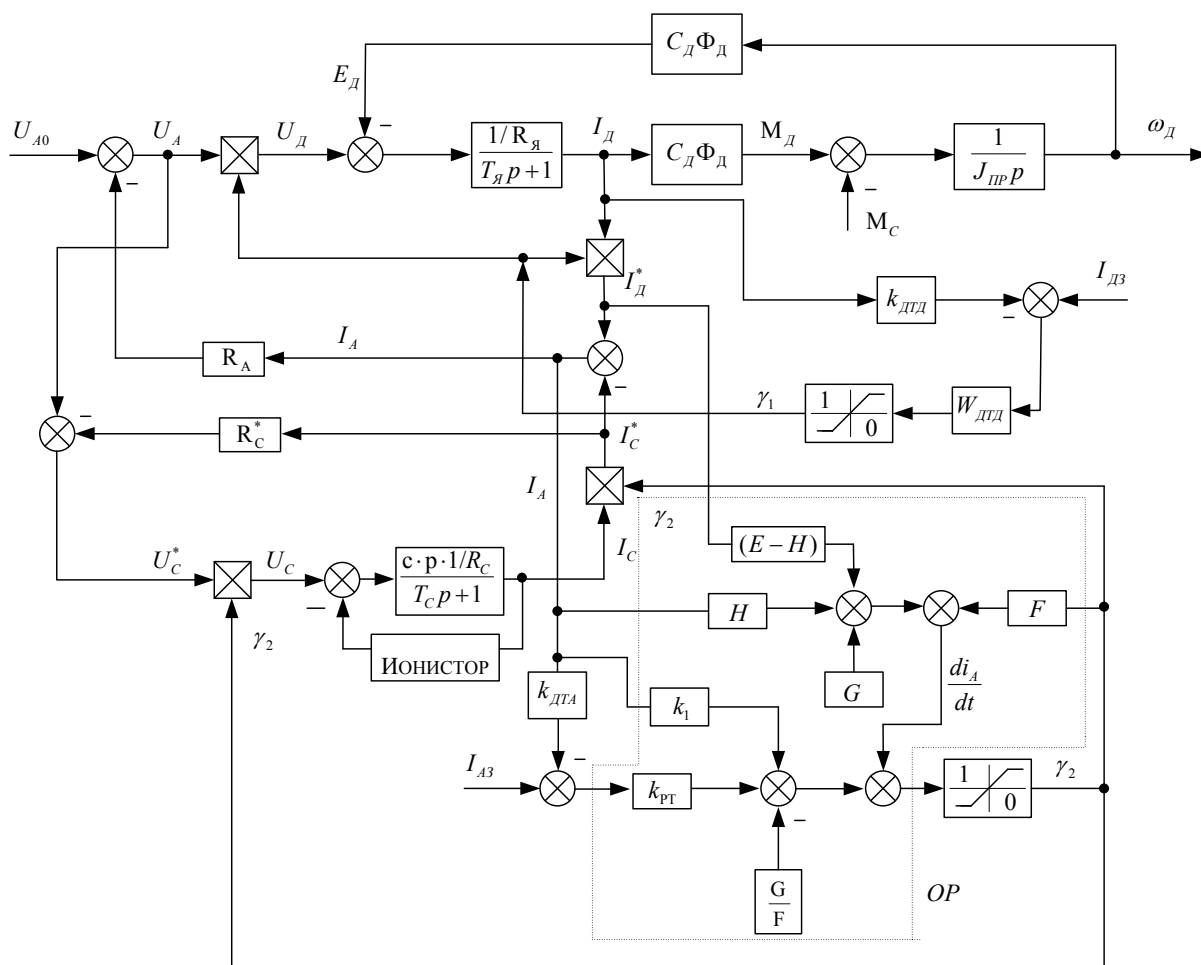


Рисунок 3 – Структурная схема КЭУ с оптимальным регулятором (ОР)

Синтезированный в работе оптимальный регулятор, обеспечивающий минимум джоулевых потерь в системе КЭУ, позволит, в конечном счете, увеличить время межзарядного пробега электромобиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Панкратов, В.В. Специальные разделы современной теории автоматического управления: учеб. пособие / В.В. Панкратов, Е.А. Зима, О.В. Нос. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2007. -220 с.

2 Красовский, А.А. Аналитическое конструирование контуров управления летательными аппаратами / А.А. Красовский. -М.: Машиностроение, 1969. -240 с.

3 Аносов, В.Н. Структурная схема электрохимического конденсатора / В.Н. Аносов // Ом. науч. вестн. -2006. -№8(44). -С. 120-123.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *электромобиль, комбинированная энергетическая установка, электрохимический конденсатор*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Аносов Владимир Николаевич, докт. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»
Кавешников Владимир Михайлович канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»
Чернов Виктор Федорович, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СЕЧЕНИЯ АСИНХРОННОГО ХОДА В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЯХ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Н.Н. Лизалек, В.Ф. Тонышев

PREDICTION OF THE CROSS SECTION OF THE ASYNCHRONOUS MOTION IN THE POWER SYSTEM WITH DYNAMIC PERTURBATIONS

«Novosibirsk state academy of water transport»

N.N. Lizalek, V.F. Tonyshev

An prediction method of induction of the section by assessing the limiting energy standing regional variation is obtained.

Keywords: stability of power systems, prediction of the cross section of the asynchronous motion

Приведен способ прогнозирования сечения асинхронного хода на основе оценки предельной энергии стоячих региональных колебаний.

В практике эксплуатации электроэнергетических систем (ЭЭС) достаточно распространенной аварией является асинхронный ход по какому-либо сечению, например, по системообразующей ЛЭП.

Прогнозирование этих сечений является весьма важной задачей, как для анализа устойчивости ЭЭС, так и для настройки устройств противоаварийной автоматики (ПАА).

Под структурой неустойчивости при электромеханических переходных процессах в энергосистеме (или просто структурой неустойчивости) примем характер ее деления на не-синхронно идущие части [1]. Развитие неустойчивости будем связывать с условиями проявления (возбуждения) структур неустойчивости при тех или иных возмущениях.

Структурные исследования устойчивости объединенной электроэнергетической системы будем основывать на анализе колебательной структуры электромеханического переходного процесса (далее, просто колебательной структуры). Колебательная структура – это такое разбиение системы на подсистемы, в котором в каждых двух смежных из них (в рассматриваемый момент времени) смещения всех векторов напряжения и ЭДС относительно центра инерции системы имеют противоположные направления. В электромеханическом переходном процессе, по мере его развития, колебательная структура не остается постоянной, а некоторым образом изменяется (развивается).

Межсистемные сечения между подсистемами волновых структур представляют собой связи системы, посредством которых взаимодействуют противофазно движущиеся подсистемы (то есть с характером движения, наиболее опасным по устойчивости), среди них находятся и «слабые» по устойчивости связи, являющиеся вероятными сечениями асинхронного

хода при нарушении устойчивости параллельной работы между подсистемами.

Вводя представление о колебательных степенях свободы энергосистемы (КСС), учитывая, что понятие степеней свободы связано с количеством необходимых для описания системы независимых координат. Применительно к рассматриваемой простейшей математической модели электромеханических переходных процессов (постоянные модули ЭДС машин) число степеней свободы равно числу синхронных машин в системе.

Электромеханические переходные процессы в энергосистеме – это взаимные колебания синхронных машин, а также, в общем случае и изменение средней частоты. Можно говорить, что движение системы из N синхронных машин определяется взаимодействием $N-1$ колебательных степеней свободы и одной поступательной. Понятию колебательной степени свободы можно придать наглядное содержание на базе результатов анализа свободного движения при «малых» колебаниях (число собственных малых колебаний для рассматриваемой модели системы также равно $N-1$).

Характеристики k -ого свободного движения при «малых» электромеханических колебаниях: собственная частота колебаний f_k в герцах (которая может использоваться как «имя» КСС) и собственная (волновая) структура S_k дают индивидуальное описание КСС, позволяющую отличить одну КСС от другой. Это описание имеет структурный характер, оно представляет вариант разбиения системы на подсистемы (региональные объекты КСС), связанные между собой предположительно «слабыми» сечениями.

Возмущающее воздействие возбуждает некоторую совокупность колебательных степеней свободы системы, насыщая их энергией колебаний. Будем связывать процессы нарушения устойчивости с некоторым предельным по устойчивости (критическим) возбуждением хотя бы одной из КСС.

Оценим предельную энергию синхронных колебаний, которой может обладать колебательная степень свободы без нарушения устойчивости взаимного движения подсистем. Оценку проведем, используя схему замещения колебательной степени свободы, в которой каждая подсистема замещена эквивалентной синхронной машиной, а динамические межсистемные сечения (ДМС) – эквивалентными связями.

Рассмотрим i -ую динамическую подсистему k -ой составляющей движения. Она описывается параметрами невозмущенного режима (мощностью генераторов P_{gi0} и нагрузок P_{hi0} , потоками мощности по ДМС P_{ij0} . Кроме того, известны и основные динамические характеристики (амплитуда колебаний центра инерции подсистемы относительно центра инерции системы $\Delta\delta_{gi}$, амплитуды колебаний мощности по ДМС ΔP_{ij} , амплитуды колебаний нагрузки ΔP_{hi} и генерации ΔP_{gi}). Эти режимные параметры легко вычисляются при известном составе динамических подсистем и межсистемных сечений на основе данных о стационарном режиме системы и ее волновых функциях для k -ой составляющей.

Полная энергия малых колебаний синхронных машин в подсистеме содержит в своем составе энергию малых синхронных колебаний (региональных движений) и энергию малых локальных движений. Энергию малых синхронных колебаний легко определить, зная амплитуду колебаний центра инерции подсистемы относительно центра инерции системы. Для i -ой подсистемы имеем (индексы принадлежности к k -ой составляющей для упрощения записи будем опускать)

$$\Delta E_i^{pes} = 0,5J_i (\Omega \Delta\delta_{gi})^2. \quad (1)$$

Оставшаяся часть полной энергии колебаний связана с локальными движениями внутри подсистемы

$$\Delta E_i^{lok} = \Delta E_i - \Delta E_i^{pes}; \Delta E_i = \sum_m \Delta E_{im},$$

где $\Delta E_i, m$ – активные узлы i -ой подсистемы.

Отношение $k_i = \Delta E_i^{pes} / \Delta E_i$ показывает долю синхронного движения в энергетическом балансе подсистемы при ее малых колебаниях. С другой стороны, полная энергия малых колебаний подсистемы разбивается на две составляющие – энергию парциальных колебаний и энергию связи:

$$\Delta E_{pi} = \sum_m \Delta E_{pim}; \Delta E_{cvi} = \Delta E_i - \Delta E_{pi}.$$

Полагая, что доля парциальной собственной составляющей в энергии малых синхронных колебаний и доля парциальной составляющей в энергии малых локальных движений

совпадают, получим способ оценки парциальной составляющей энергии малых синхронных колебаний

$$\Delta E_{pi}^{pea} = \Delta E_i^{pea} \frac{\Delta E_{pi}}{\Delta E_i}.$$

С учетом изложенного определим частоты парциальных малых синхронных колебаний подсистемы как целого, которая уже характеризует параметры эквивалентной синхронной машины (в частности, ее синхронизирующую мощность в точке исходного режима), замещающей подсистему в ее синхронном движении относительно центра инерции системы

$$\Omega_{pi}^2 = \frac{\Omega^2 \Delta E_i^{pea}}{\Delta E_{pi}^{pea}} = \frac{\Omega^2 \Delta E_i}{\Delta E_{pi}}. \quad (2)$$

Определим амплитуду малых колебаний угла вектора напряжения на шинах эквивалентного генератора, замещающего i -ую подсистему

$$\Delta \delta_i = \Delta \delta_{ai} \frac{\Omega_{pi}^2 - \Omega^2}{\Omega_{pi}^2}. \quad (3)$$

Аналогичные вычисления можно провести для всех подсистем волновой структуры колебательной степени свободы.

Характеристики мощности синхронных машин системы в координатах мощность-угол относительно центра инерции системы, необходимые для расчета предельного значения энергии колебаний, имеют сложный вид. Однако относительно парциальных характеристик мощности и характеристик мощности связей можно сделать предположение об их простом синусоидальном характере. В этом случае по названным выше известным параметрам можно определить эти характеристики. То есть, полагая, что характеристики описываются соотношением вида

$$P = A_{\max} \sin \delta,$$

то для парциальной характеристики получим

$$\delta_{ai0} - \delta_{i0} = \arctg \frac{P_{ai0}}{100\pi J_i \Omega_{pi}^2}; A_{\max ai} = \frac{P_{ai0}}{\sin(\delta_{ai0} - \delta_{i0})}. \quad (4)$$

Для эквивалентной связи с j -ой подсистемой

$$\delta_{i0} - \delta_{j0} = \arctg \frac{P_{ij0} (\Delta \delta_i - \Delta \delta_j)}{\Delta P_{ij}}; A_{\max ij} = \frac{P_{ij0}}{\sin(\delta_{i0} - \delta_{j0})}, \quad (5)$$

где $(\delta_{ai0} - \delta_{i0}), (\delta_{i0} - \delta_{j0})$ – разности фаз в исходном режиме.

После расчета параметров всех эквивалентных генераторов подсистем и связей получаем схему замещения для анализа синхронных движений подсистем данной колебательной степени свободы с исходным установившимся режимом.

Вычисление потенциальной энергии подсистемы при ее колебаниях относительно исходного состояния равновесия проводится численным интегрированием

$$W_i = \int_0^{\Delta \delta_{ai}(t)} (-\Delta M_{i0}) d(\Delta \delta_{ai}), \quad (6)$$

где ΔM_{i0} – небаланс момента, действующего на подсистему в относительном движении,

$$\Delta M_{i0} = \Delta M_i - \Delta M_s \frac{J_i}{J_s};$$

$$-\Delta M_i = \frac{1}{100\pi} [A_{\max ai} \sin(\delta_{ai0} - \delta_{i0} + \Delta \delta_{ai} - \Delta \delta_i) - P_{ai0}] = \frac{1}{100\pi} [A_{\max ai} \sin(\delta_{ai0} + \Delta \delta_{ai}) - P_{ai0}]; \quad (7)$$

$$\Delta M_s = \sum_i \Delta M_i = \frac{1}{100\pi} \sum_i [P_{ai0} - A_{\max ai} \sin(\delta_{ai0} + \Delta \delta_{ai})]. \quad (8)$$

Применительно к рассматриваемому случаю, распределение импульса в начальный момент времени дается распределением амплитуд колебаний углов эквивалентных генераторов подсистем, умноженным на частоту колебаний

$$\sum_i J_i \Omega \Delta \delta_{ai} = 0. \quad (9)$$

При этом смещения подсистем равны нулю (все подсистемы одновременно проходят

точку равновесия). В процедуре оценки предельной энергии колебаний, дифференциалы углов синхронных машин можно выбирать в соответствии с выражением

$$d(\Delta\delta_{ai}) = d\delta \cdot \Delta\delta_{ai}^H, \quad (10)$$

где $\Delta\delta_{ai}^H$ – нормированная волновая функция колебательной степени свободы по угловым синхронным отклонениям подсистем,

$$\Delta\delta_{ai}^H = \frac{\Delta\delta_{ai}}{\sqrt{\sum_i \Delta\delta_{ai}^2}}, \quad (11)$$

$d\delta$ – некоторый дифференциал углового смещения (шаг интегрирования по углу), доли которого по (10) определяют дифференциалы смещений эквивалентных генераторов подсистем, удовлетворяющие закону сохранения импульса.

Если по (10) определяются дифференциалы угловых смещений роторов эквивалентных генераторов подсистем $d(\Delta\delta_{ai})$, то дифференциалы угловых смещений векторов напряжения на шинах этих эквивалентных машин $d(\Delta\delta_i)$ будут однозначно связаны с $d(\Delta\delta_{ai})$ уравнениями баланса активной мощности на шинах эквивалентов. Если пренебречь изменениями активной мощности нагрузок подсистемы (простейшая модель нагрузки – постоянная нагрузка), то

$$\frac{\partial P_{ai}}{\partial \delta_{ai}} d(\Delta\delta_{ai}) = \frac{\partial P_{ai}}{\partial \delta_{ai}} d(\Delta\delta_{ai} - \Delta\delta_i) = \left(\sum_j \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_i} \right) d(\Delta\delta_i) + \sum_j \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_j} d(\Delta\delta_j). \quad (12)$$

Соотношения (12), записанные для всех эквивалентных узлов, образуют систему линейных уравнений относительно неизвестных дифференциалов $d(\Delta\delta_i)$, отвечающих уравнениям движения, из которых они однозначно определяются.

Определение дифференциалов по (10) и (12) позволяет организовать вычисление потенциальной энергии при синхронных колебаниях подсистем колебательной степени свободы, связанное с этими синхронными движениями. Так как, при пренебрежении потерями активной мощности и изменением нагрузок $P_{ni} = P_{ni0}$, $\Delta M_s = 0$

$$\Delta M_s = \sum_i \Delta M_i = \frac{1}{100\pi} \sum_i (P_{ai0} - P_{ai}) = \frac{1}{100\pi} \sum_i \left(P_{ni0} + \sum_j P_{ij0} - P_{ni} - \sum_j P_{ij} \right) = \frac{1}{100\pi} \sum_i (P_{ni0} - P_{ni}) = 0, \quad (13)$$

поскольку $\sum_i \sum_j P_{ij0} = 0$ и $\sum_i \sum_j P_{ij} = 0$, то потенциальная энергия подсистемы при ее отклонении от положения равновесия

$$W_i = \frac{1}{100\pi} \int_0^{\Delta\delta_{ai}} \Delta P_{ai} d(\Delta\delta_{ai}) = \frac{1}{100\pi} \int_0^{\Delta\delta_{ai}} \left[A_{\max ai} \sin(\delta_{ai0} - \delta_{i0} + \Delta\delta_{ai} - \Delta\delta_i) - P_{ai0} \right] d(\Delta\delta_{ai}), \quad (14)$$

где переменные $\Delta\delta_{ai} = \int d(\Delta\delta_{ai})$, $\Delta\delta_i = \int d(\Delta\delta_i)$ – результаты накопления (суммирования) дифференциалов $d(\Delta\delta_{ai})$ и дифференциалов $d(\Delta\delta_i)$, определенных из (12), частные производные в которых также вычисляются при текущих (накопленных) значениях углов $\Delta\delta_{ai}$, $\Delta\delta_i$.

В зависимости от знака $d(\Delta\delta_{ai})$ определяемого знаками $d\delta$ и $\Delta\delta_{ai}^H$ рассматриваемая подсистема будет опережать $d(\Delta\delta_{ai}) > 0$ или отставать $d(\Delta\delta_{ai}) < 0$ от центра инерции системы. За счет изменения знака $d\delta$ (инвертирования начального распределения импульсов) можно рассмотреть оба случая. В обоих этих случаях движение в заданном направлении будем продолжать до тех пор, пока величина W_i не начнет снижаться (после некоторого интервала изменения угла, на котором она монотонно нарастает). Точка экстремума является критической точкой, описываемой параметрами $\Delta\delta_{ai}^{экт}$ и $W_i^{экт}$, (двумя парами этих параметров для отклонений угла разного знака). Минимальная величина из пары экстремальных значений потенциальной энергии определяет предельную энергию синхронных колебаний, которой может обладать подсистема в рассматриваемой колебательной степени свободы. После определения таких предельных значений для всех подсистем и ранжирования этого списка величин по возрастанию получим на его первом месте минимальное предельное значение энергии колебаний, которой должна обладать некоторая подсистема для того, чтобы синхронные колебания рассматриваемой колебательной степени свободы были неустойчивы по вине определенной подсистемы. Теперь можно определить и суммарную энер-

гию синхронных колебаний k -ой колебательной степени свободы, которая равна сумме энергии колебаний всех подсистем в случае, когда подсистема – виновник нарушения устойчивости, обладает предельной энергией колебаний $W_k^{пред}$.

Для определения сечения, по которому при нарушении устойчивости подсистемы будет развиваться асинхронный ход, необходимо разбить ее предельную энергию колебаний на отдельные составляющие: парциальную и эквивалентных связей. Это можно сделать, преобразовав интеграл из (14) к виду (также при предположении о постоянстве нагрузок)

$$W_i = \frac{1}{100\pi} \int_0^{\Delta\delta_{ei}} (P_{ei} - P_{ei0}) d(\Delta\delta_{ei}) = \frac{1}{100\pi} \int_0^{\Delta\delta_{eni} + \Delta\delta_i} (P_{ei} - P_{ei0}) d(\Delta\delta_{eni} + \Delta\delta_i) =$$

$$= \frac{1}{100\pi} \int_0^{\Delta\delta_{eni}} (P_{ei} - P_{ei0}) d(\Delta\delta_{eni}) + \frac{1}{100\pi} \int_0^{\Delta\delta_i} (P_{ei} - P_{ei0}) d(\Delta\delta_i), \quad (15)$$

где интегралы можно численно определять на основе соотношений

$$\frac{1}{100\pi} \int_0^{\Delta\delta_{eni}} (P_{ei} - P_{ei0}) d(\Delta\delta_{eni}) = \frac{1}{100\pi} \int_0^{\Delta\delta_{eni}} [A_{\max ei} \sin(\delta_{ei0} - \delta_{i0} + \Delta\delta_{eni}) - P_{ei0}] d(\Delta\delta_{eni}) = W_i^{пар}; \quad (16)$$

$$\frac{1}{100\pi} \int_0^{\Delta\delta_i} (P_{ei} - P_{ei0}) d(\Delta\delta_i) = \frac{1}{100\pi} \sum_j \int_0^{\Delta\delta_j} [A_{\max ij} \sin(\delta_{i0} + \Delta\delta_i - \delta_{j0} - \Delta\delta_j) - P_{ij0}] d(\Delta\delta_j) = \sum_j W_{ij}^{cs}. \quad (17)$$

При численном интегрировании назначение дифференциалов также происходит с учетом (12). Последние соотношения позволяют представить потенциальную функцию W_i в виде суммы составляющих

$$W_i = W_i^{пар} + \sum_j W_{ij}^{cs}. \quad (18)$$

Это дает возможность определить причину появления экстремума W_i . Те составляющие потенциальной энергии, которые в момент экстремума функции W_i свои экстремальные значения уже прошли, и являются причинами наступления этого экстремума, что иллюстрируется рисунком. На нем, в зависимости от изменения угла эквивалентного генератора подсистемы, приведены W_i (жирной линией), $W_i^{пар}$ и W_{ij}^{cs} для $j=1, 2, 3$ (то есть рассматриваемая подсистема является узловой). Очевидно, что причиной появления экстремума, являются межсистемные связи с подсистемой 2. Это означает, что межсистемные связи колебательной степени свободы, соединяющие рассматриваемую подсистему с подсистемой 2, будут теми сечениями системы, по которым произойдет развитие асинхронного хода.

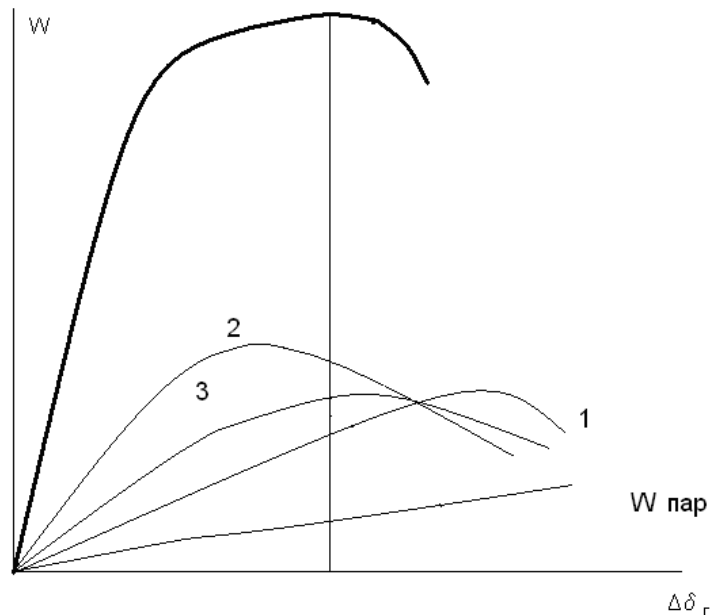


Рисунок – Изменение составляющих потенциальной энергии подсистемы при ее отклонении от положения равновесия

Таким образом, предложенные алгоритмы позволяют оценить минимальную энергию синхронных стоячих колебаний для рассматриваемой колебательной степени свободы и определить сечение, по которому будет происходить нарушение межсистемной устойчивости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Исследование структуры устойчивого движения энергосистем при больших возмущениях / Н.Н. Лизалек, А.Н. Ладнова, В.Ф. Тонышев, М.В. Данилов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Вост. Спецвып. -2009. -С. 54-65.

2 Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. В 10 т. Т.1. Механика: учеб. пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. -4-е изд., испр. -М.: Наука, 1988. -216 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: устойчивость энергосистем, прогнозирование сечений асинхронного хода
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Лизалек Николай Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавт»
 Тонышев Владимир Федорович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавт»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ХАРАКТЕРА СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПРОСТОЙ МОДИФИКАЦИИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Н.Н. Лизалек, В.Ф. Тонышев

MATHEMATICAL MODEL OF ELECTROMECHANICAL TRANSIENT PROCESSES FOR THE ANALYSIS OF CHARACTER OF FREE OSCILLATIONS IN A SIMPLE MODIFICATION
 «Novosibirsk state academy of water transport»
 N.N. Lizalek, V.F. Tonyshev

A simple mathematical model for the structural analysis of electromechanical transients in complex power systems is proposed.

Keywords: instability of power systems, mathematic model

Предложена простая математическая модель для структурного анализа электромеханических переходных процессов в сложных электроэнергетических системах.

В основе одной из простейших математических моделей электромеханических переходных процессов (ЭМПП) в электроэнергетической системе (ЭЭС) лежат уравнения движения вращающихся частей электрических машин (роторов) и уравнения баланса активных и реактивных токов (или мощностей) в узловых точках системы. Именно эти уравнения вносят собственно системный аспект в математические модели электромеханических колебаний ЭЭС. Они описывают процессы взаимодействия синхронных машин (СМ) через электрическую сеть.

Совокупность упомянутых уравнений образует системную часть (системный уровень) модели ЭМПП. Остальные уравнения, используемые в модели, описывают отдельные агрегаты: синхронные машины, турбины, нагрузку и т.д. Они образуют агрегатный уровень модели ЭМПП.

Уравнения модели системного уровня для каждого узла с включенной СМ имеют вид:

$$\begin{cases} J_i \frac{d\Omega_{ai}}{dt} = M_{mi} - M_{ai} = \frac{P_{mi} - P_{ai}}{\Omega_{ai}}; \\ -P_{ai} + P_{hi} + \sum_j P_{ij} = 0; \\ -Q_{ai} + Q_{hi} + \sum_j Q_{ij} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где i – номер узла;

J_i – момент инерции СМ;

Ω_{ai} – угловая скорость (угловая частота) вращения ее ротора;

M_{mi} – момент турбины;

M_{ai} – электромагнитный момент, действующий на ротор СМ со стороны электрической системы;

P_{mi} – мощность турбины;

P_{ai} – активная мощность СМ, выдаваемая в систему;

P_{hi} – активная мощность нагрузки, потребляемая в узле;

P_{ij} – потоки активной мощности по линиям, отходящим от i -го узла;

Q_{ai} – реактивная мощность СМ, выдаваемая в сеть;

Q_{hi} – реактивная мощность нагрузки в узле;

Q_{ij} – потоки реактивной мощности по линиям;

j – узлы, инцидентные i -ому.

Для пассивных узлов (в которых не включены СМ) первое уравнение из (1) отсутствует, а в двух других – величины P_{ei} , Q_{ei} полагаются равными нулю.

Принятая модель (1) описывает систему без учета электромагнитных переходных процессов в статорных цепях, то есть токи и напряжения в статорных цепях в моделях электро-механических переходных процессов могут мгновенно изменяться при возникновении возмущения. Одновременно, уравнения (1) предполагают, что взаимные отклонения скоростей вращения роторов генераторов в переходном процессе весьма малы по отношению к их абсолютным скоростям, то есть, что некогерентность движения СМ системы предположительно ограничивается весьма узкой трубкой по отношению к абсолютным скоростям их вращения. При этом возможно дальнейшее упрощение первого уравнения в системе (1), в знаменателе правой части которого (при расчете небаланса момента на валу на основе небаланса мощности) можно использовать не индивидуальную скорость вращения данной машины, а некоторую одинаковую для всех машин частоту Ω_0 , лежащую внутри трубки некогерентности в каждый момент времени.

Именно при этих допущениях в переходном электро-механическом процессе сохраняется возможность оперирования понятиями модулей и фаз векторов напряжения и ЭДС (и, следовательно, понятиями активной и реактивной мощности), строго говоря, применимыми только к установившемуся (одночастотному) режиму системы. Эти предположения определяют выбор независимых переменных для описания режимов электрической сети при электро-механических движениях в системе. Ими служат модули и фазы (углы) векторов напряжения и ЭДС ($U_i, \delta_i, E_i, \delta_{ei}$), что совпадает с набором координат, необходимым для полного описания стационарных режимов системы.

При приближенном анализе процессов на начальной стадии (несколько секунд), модули переходных ЭДС СМ E_i могут полагаться постоянными, что позволяет отказываться от подробного описания процессов в роторных цепях и системах возбуждения (случай предельно упрощенной модели СМ агрегатного уровня) и непосредственно применять модель вида (1). Эта разновидность модели имеет особое значение, так как в ней все внимание акцентируется на системном аспекте электро-механических колебаний.

Изменения углов векторов напряжения и ЭДС (при их отсчете от некоторой неподвижной оси) определяются известными соотношениями вида

$$\frac{d\delta_i}{dt} = \Omega_i, \quad (2)$$

где δ_i – угол вектора напряжения или ЭДС относительно неподвижной оси.

Абсолютную скорость Ω_i представляют в виде суммы двух составляющих

$$\Omega_i = \Omega_0 + \Delta\Omega_i, \quad (3)$$

где Ω_0 – некоторая базисная угловая частота, которая иногда принимается постоянной и равной частоте исходного режима, но, в общем случае, она может быть и функцией времени;

Ω_i – отклонения частоты вращения вектора напряжения или вектора ЭДС от Ω_0 .

Из (2) и (3) следует, что разности $\delta_i - \delta_k$ (и их производные) определены только отклонениями угловых частот вращения векторов от частоты Ω_0 , то есть

$$\delta_i - \delta_k = \int (\Delta\Omega_i - \Delta\Omega_k) dt, \quad (4)$$

что позволяет интерпретировать Ω_0 как скорость вращения движущейся оси отсчета углов. Разности фаз не зависят от характера изменения положения оси отсчета во времени, то есть ось отсчета углов сама может вращаться с переменной скоростью.

Разбиение на составляющие (3) приобретает физическое содержание при таком выборе Ω_0 , при котором функция $\Omega_0(t)$ попадает в трубку некогерентности переходного процесса, а $|\Delta\Omega_i|$ остаются малыми по отношению к Ω_0 . При этом появляется возможность отождествления Ω_0 с важнейшим системным параметром – средней частотой переменных токов и напряжений в статорных цепях, определяющим их схему замещения (индуктивные сопротивления и емкостные проводимости).

Рассмотрим простейшую математическую модель с «выключенным» демпфированием,

в которой, кроме того, пренебрегается влиянием изменения модулей напряжения в узлах на активное потокораспределение. Для сохранения соответствия между числом уравнений и числом неизвестных в них отбросим уравнений баланса реактивной мощности. В качестве Ω_0 выберем частоту в исходном установившемся режиме системы. Тогда

$$\frac{d\Omega_i}{dt} = \frac{d\Delta\Omega_i}{dt} = \frac{d^2\Delta\delta_i}{dt^2}, \quad (5)$$

где $\Delta\delta_i$ – отклонение угла вектора напряжения или ЭДС от оси вращающейся с частотой Ω_0 . Первое уравнение из системы (1) запишется

$$\frac{d^2\Delta\delta_i}{dt^2} = \frac{P_{mi} - P_{ei}}{J_i(\Omega_0 + \Delta\Omega_{ei})} \approx \frac{P_{mi} - P_{ei}}{J_i\Omega_0} = \Omega_0 \frac{P_{mi} - P_{ei}}{J_i\Omega_0^2} = \Omega_0 \frac{P_{mi} - P_{ei}}{T_{ji}P_{номi}}, \quad (6)$$

где, в соответствии с определением постоянной времени T_{ji} в секундах при базисной мощности, равной, например, номинальной активной мощности машины $P_{номi}$, учтено, что $J_i\Omega_0^2 = T_{ji}P_{номi}$, и, при вычислении момента принято приближенное соотношение

$$\frac{P_{mi} - P_{ei}}{(\Omega_0 + \Delta\Omega_{ei})} \approx \frac{P_{mi} - P_{ei}}{\Omega_0}. \quad (7)$$

В такой идеализации линейные колебания энергосистемы подобны колебаниям механической системы, составленной из сосредоточенных, упруго связанных между собой масс. Отклонениям углов в электроэнергетической системе соответствуют перемещения отдельных массивных точек механического аналога. Линеаризованные в окрестности стационарного состояния системы уравнения движения имеют вид

$$\begin{cases} \frac{d^2\Delta\delta_{ei}}{dt^2} = -\frac{\Omega_0}{T_{ji}P_{номi}} \frac{\partial P_{ei}}{\partial \delta_{ei}} (\Delta\delta_{ei} - \Delta\delta_i); \\ \frac{\partial P_{ei}}{\partial \delta_{ei}} (\Delta\delta_{ei} - \Delta\delta_i) = \sum_j \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_i} (\Delta\delta_i - \Delta\delta_j), \end{cases} \quad (8)$$

где $P_{ei} = E_i U_i Y_i \sin(\delta_{ei} - \delta_i)$; $P_{ij} = U_i U_j Y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)$, $P_{ei} - P_{hi} - \sum_j P_{ij} = 0$,

углы измеряются относительно произвольно выбранной синхронно вращающейся оси, $i = 1, \dots, N$; j – узлы, инцидентные i -ому, E_i, U_i, P_{hi} – постоянные величины, $\Omega_0 = 314$ рад/с.

Введем обозначения

$$m_i = \Omega_0 J_i; S_{ei} = \frac{\partial P_{ei}}{\partial \delta_{ei}}; S_{ij} = \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_i}; K_{ij} = \frac{S_{ij}}{S_{ei}}; \Omega_{pi} = \sqrt{\frac{S_{ei}}{m_i}}, \quad (9)$$

где Ω_{pi} – частота колебаний ротора i -ого генератора при неизменности по модулю и углу вектора напряжения на его шинах – парциальная частота;

K_{ij} – коэффициенты относительной жесткости примыкающих к i -ому узлу связей (по отношению к жесткости связи генератора с системой).

Тогда уравнения будут представлены в виде

$$\begin{cases} \frac{d^2\Delta\delta_{ei}}{dt^2} = -\Omega_{pi}^2 (\Delta\delta_{ei} - \Delta\delta_i); \\ \Delta\delta_{ei} - \Delta\delta_i = \sum_j K_{ij} (\Delta\delta_i - \Delta\delta_j). \end{cases} \quad (10)$$

Исключив $\Delta\delta_{ei}$, получим для каждого узла дифференциальное уравнение второго порядка

$$\frac{d^2\Delta\delta_i}{dt^2} + \sum_j K_{ij} \left(\frac{d^2\Delta\delta_i}{dt^2} - \frac{d^2\Delta\delta_j}{dt^2} \right) - \Omega_{pi}^2 \sum_j K_{ij} (\Delta\delta_i - \Delta\delta_j) = 0. \quad (11)$$

Предположим, что общее решение (11) представимо суммой

$$\Delta\delta_i(t) = \sum_{k=1}^N (C_{ik} \cos \Omega_k t + B_{ik} \sin \Omega_k t),$$

каждая компонента которой удовлетворяет (11). Подставив k -компоненту в (11), получим соотношения для амплитуд

$$\begin{cases} \sum_j K_{ij} (C_{ik} - C_{jk}) - \frac{C_{ik} \Omega_k^2}{\Omega_{pi}^2 - \Omega_k^2} = 0; \\ \sum_j K_{ij} (B_{ik} - B_{jk}) - \frac{B_{ik} \Omega_k^2}{\Omega_{pi}^2 - \Omega_k^2} = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Уравнения, определяющие амплитуды C_{ik}, B_{ik} , (с точностью до постоянного множителя) совпадают, то есть $C_{ik}/B_{ik} = \text{Const}$ и колебания углов в различных узлах системы для k -ой составляющей синфазны (противофазные движения считаются синфазными с амплитудами разного знака), следовательно

$$\Delta \delta_i(t) = \sum_{k=1}^N A_{ik} \cos(\Omega_k t + \varphi_k). \quad (13)$$

Синфазность колебаний позволяет характеризовать k -ую составляющую как стоячую электромеханическую волну, распределенную по системе с амплитудами A_{ik} (моду с пространственной конфигурацией A_{ik}). Смысл представления (13) в том, что движения в каждом узле системы являются взвешенными суммами независимых друг от друга составляющих (их линейными комбинациями), называемых собственными движениями (функциями) или модами, каждая из которых формируется в системе как в целом, то есть каждая составляющая определяется совокупностью всех параметров системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Исследование структуры устойчивого движения энергосистем при больших возмущениях / Н.Н. Лизалек, А.Н. Ладнова, В.Ф. Тонышев, М.В. Данилов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Вост. Спецвып. -2009. -С. 54-65.

2 Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. В 10 т. Т.1. Механика: учеб. пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. -4-е изд., испр. -М.: Наука, 1988. -216 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: неустойчивость энергосистем, математическая модель

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Лизалек Николай Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавт»
Тонышев Владимир Федорович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавт»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В СЕЙСМОЛОГИИ И СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

А.П. Малахов

ELECTROMECHANICAL SYSTEMS AT SEISMOLOGY AND BUILD PRODUCTION

«Novosibirsk state technical university»

A.P. Malahov

Results of creation are specified and possibilities of a batch production of electromechanical systems in seismology, in mining and building manufacture are proved.

Keywords: seismology, building, electric hammer, vibratory pile driving, deformation, frequency, impact energy, linear asynchronous motor, hydraulic hammer

Приведены результаты создания и обосновываются возможности серийного производства электромеханических систем в сейсмологии, в горном деле и строительном производстве.

В наземной невзрывной сейсмологии (сейсморазведке) информационные сейсмические волны возбуждаются путем приложения динамических переменных во времени нагрузок к поверхности земли, к стенкам скважины или траншеи. Эти воздействия не должны разрушать исследуемую среду-грунт в месте проведения работ [1].

В строительных же работах и в горном деле при уплотнении грунтов или при забивке и погружении строительных конструкций (шпунта, свай, оболочек) наоборот, силовые воздействия должны приводить к разрушению этого грунта при ударных или вибрационных нагрузках.

ках [2].

При сейсмологии и сейсморазведке удельные усилия на грунт не превышают 2,5-5,0 Н/см² (осадка 0,5-1,0 мм), то при погружении строительных конструкций удельные усилия под штампом достигают величин 45-50 Н/см². При этом осадка штампа может достигать 50-60 мм.

Кроме того, при погружении строительных элементов необходимо преодолевать поверхностное трение стенок этих конструкций, которые в тяжелых грунтах могут достигать величин 10-20 кН/м² [6]. При вибрационном погружении грунт приходит в так называемое «разжиженное» состояние и поверхностное трение значительно уменьшается.

При резком увеличении деформации, что соответствует необратимому сдвигу частиц грунта, его модуль общей деформации можно определить по формуле [2]

$$E_0 = (1 - \mu^2) \frac{N}{dS},$$

где E_0 – модуль деформации, Н/см²;

N – полная нагрузка от штампа на основание, Н;

d – диаметр торца погружаемого элемента, см;

S – конечная осадка, соответствующая нагрузке, см;

μ – коэффициент поперечного расширения (коэффициент Пуассона), обычно принимается равным 0,3-0,4.

В соответствии с приведенными свойствами грунтов был создан ряд электромагнитных импульсных сейсмоисточников с массами ударных частей в 50 [3] и 200 кг [4]. Усилия, развиваемые этими источниками, подчиняются соотношению равенства импульса силы и количества движения. Откуда эти усилия определяются по зависимости

$$F = m \frac{v}{t},$$

где F – развиваемое усилие, Н;

m – масса ударной части, кг;

v – скорость бойка при ударе, м/с;

t – время соударения, с.

Таковыми сейсмоисточниками создавались усилия соответственно в 60 и 300 кН.

В этих электромагнитных импульсных сейсмоисточниках соотношение v/t достигало величин в 1,0-1,5 м/с².

Одновременно с такими электромагнитными сейсмоисточниками создавались и исследовались импульсные источники с приводом от линейных асинхронных электродвигателей [5]. В этих сейсмоисточниках и ударных машинах соотношение v/t достигает величин (3-4)·10³ м/с² при тех же весогабаритных показателях, что и у электромагнитных машин.

Как показали исследования, сейсмоисточники более эффективно выполнять на вибрационном принципе [1, 7].

По конструктивной схеме [7] электромагнитные сейсмоисточники с системой постоянного подмагничивания можно строить передвижные и стационарные излучающие системы на любые возмущающие усилия в требуемом частотном диапазоне 5-100 Гц.

Для потребностей строительной индустрии в кратчайшее время может быть запущен в серийное производство электромагнитный молот на энергию удара 30-40 кДж с массой бойка 2-3 т [8]. Молот отличается своей простотой и, соответственно, высокой надежностью в работе. Но более высокими технико-экономическими показателями обладает электромолот с линейным асинхронным исполнительным органом.

Основными критериями показателей электромолотов являются их коэффициенты полезного действия – электромагнитных 35-40%, электрических с ЛАД 70-75% – и количество обмоточной меди.

Число витков обмоток электромолотов может быть рассчитано из соотношения

$$W = \frac{U \cdot 10^4}{4.44 \cdot B \cdot f \cdot S},$$

где U – напряжение питания, В;

B – индукция в стали, Тл;

f – частота питающего напряжения, Гц;

S – сечение стали магнитопровода, см².

А так как электромагнитный молот питается частотой тока равной частоте ударов 1,0-1,5 Гц [8], а электромолот с линейным приводом питается переменным током частотой до 50 Гц, то и общее число витков, а, следовательно, и количество обмоточного провода требуется в 5-10 раз меньше. Однако и тот и другой молот из-за особенностей их конструкции могут быть рекомендованы к серийному производству. Оба вида электромолотов будут в 2-3 раза дешевле выпускаемых иностранными и отечественными фирмами гидравлических молотов.

Из-за специфики работы молотов с малыми частотами ударов 1-2 Гц для увеличения коэффициентов полезного действия погружения строительных конструкций необходимо переходить на вибропогружатели с частотой вибраций 25-50 Гц. В этом случае резко уменьшаются силы поверхностного сопротивления и значительно уменьшаются необходимые потребляемые мощности, что особенно важно при выполнении работ от автономных энергоустановок и в районах Арктики и Крайнего Севера РФ.

Несущую способность сваи-стойки свайного фундамента или опоры моста определяют по формуле [11]

$$F = kRS,$$

где k — коэффициент условий работы сваи в грунте;

R — расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи-стойки, кН/м²;

F — площадь опирания сваи на грунт, м².

Расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, погружаемой на 35-50 м, может составлять 100-1000 Н/см². Так для металлической сваи оболочки (трубы) диаметром 1,5 м (толщина стенки 18 мм) эта несущая способность будет равна 5 МН.

Примерно такую же величину составляет и поверхностное трение этой сваи о грунт в случае выемки грунта из внутренней полости сваи-оболочки.

Сваи-трубы или оболочки зачастую выполняются с диаметрами 2,0-3,0 м и более [12]. При строительстве морских стационарных нефтяных платформ погружаются трубы-сваи еще большего диаметра и на большие глубины. Для выполнения этих работ требуются и специальные вибропогружатели. Эти работы практически невозможно выполнять молотами из-за больших диаметров труб-свай. Выполнение погружателей по традиционным дебалансным или эксцентриковым конструктивным схемам [13] вследствие ограничений по силовым характеристикам серийных подшипников качения затруднено. Это обстоятельство ведет к необходимости перехода к более интенсивным энергоносителям — гидравлическим с повышенным давлением жидкости до 40-50 МПа и переходу к виброимпульсным режимам работы вибропогружателей на частотах до 45-50 Гц.

Выводы. На основе имеющихся результатов НИР по электромеханическим системам молотов и сейсмоисточников делается вывод о возможности производства электромагнитных и электрических молотов с линейными асинхронными электроприводами с массами бойков до 50-100 т.

Вибропогружатели по традиционным дебалансным и эксцентриковым схемам можно выпускать на усилия до 200-300 кН.

Для выполнения вибропогружателей на большие усилия необходимо переходить на более интенсивные энергоносители, например, на гидравлические с давлением рабочей жидкости до 40-50 МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Теория и практика наземной невзрывной сейсморазведки/ Под редакцией М.Б. Шнерсона. -М.: Недра, 1998. -527 с.: ил.
- 2 Дорошкевич, Н.М. Основания и фундаменты / Н.М. Дорошкевич, Г.К. Клейн, П.П. Смиренин. -М.: Высшая школа, 1972. -256 с.
- 3 Авт. св-во №1778729. Импульсный источник сейсмических сигналов / Малахов А.П., Бритков Н.А. БИ №44 от 04.11.92. -5 с.
- 4 Экспериментальные исследования возбуждения сейсмических волн импульсным источником: в кн. Исследование Земли невзрывными сейсмическими источниками / Н.А. Бритков, В.А. Коржов, А.П. Малахов. -М.: Наука, 1981. -С. 228-235.
- 5 Патент №2315181. Электромолот / Малахов, А.П. -Опубл. 20.01.2008. Бюл. №2. -5 с.
- 6 Электромагнитные силовые импульсные системы для сейсмических исследований: в кн. Проблемы вибрационного просвечивания Земли / А.П. Малахов, Н.П. Ряшенцев. -М.:

Наука, 1977. -С. 98-104.

7 Патент №2318611. Вибросейсмоисточник / Малахов А.П. -Опубл. 10.03.2008. Бюл. №7. -6 с.

8 Малов, А.Т. Электромагнитные молоты / А.Т. Малов, Н.П. Ряшенцев, А.В. Носовец, А.П. Малахов, А.Н. Антонов. -Новосибирск: Наука, 1979. -269 с.

9 Вибраторы Мюллер. Thyssen Krupp GFT Bautechnik GmbH. -Режим доступа: www.tkm-gft.thyssenkrupp.com.

10 Электромолоты в промышленном, гражданском строительстве и для возведения морских стационарных платформ / А.П. Малахов // Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. - 2009. -№2. -С. 363-370.

11 Проектирование и устройство свайных фундаментов: учебн. пособие для строительных вузов / С.Б. Беленький, Л.Г. Дикман, А.И. Кондратьев, И.И. Косоруков, Н.Г. Самсонов, В.И. Сосков. -М.: Высш. шк., 1983. -328 с., ил.

12 Указание по эксплуатации и ремонту вибропогружателей и вибромолотов в транспортном строительстве. Министерство транспортного строительства. -М.: 1976. -150 с., ил.

13 Линейные электроприводы для вибрационного погружения, извлечения строительных конструкций и в вибросейсмических работах / А.П. Малахов, Д.Б. Бочков // Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2009. -№2. -С. 358-363.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сейсмология, строительство, электромолоты, вибропогружение, деформация, частота, энергия удара, линейные асинхронные двигатели, гидромолоты, сваи-оболочки

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Малахов Алексей Петрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

ВЫБОР КООРДИНАТ МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТОКОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ С ТРЕУГОЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ФАЗ

«Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова»

П.Н. Майшев

CHOICE OF COORDINATES MAGNETO-SENSITIVE ELEMENTS FOR IDENTIFICATION OF CURRENTS SHORT CIRCUITS IN ELECTROINSTALLATIONS WITH A TRIANGULAR POSITIONING OF PHASES

«Pavlodar state university named S. Toraigyrova»

P.N. Maishev

Forms for calculating the coordinates of which are necessary to establish a magnetically controlled current converter that signal from its output was proportional to the predetermined current of phases, its difference, or sequences of symmetrical components are deduced.

Keywords: current, magnetic field, current converter, strength, electrical installation, current-conducting wire

Приведены формулы для расчетов координат, в которые необходимо установить магнитоуправляемый преобразователь тока, чтобы сигнал с его выхода был пропорционален заранее заданным токам фаз, их разностям или последовательностям симметричных составляющих.

Экономия и рациональное использование ресурсов всегда было первостепенной задачей в промышленности. В технике релейной защиты (РЗ) одним из путей решения этой задачи является создание устройств, не нуждающихся в трансформаторах тока (ТТ), а использующих нематериалоемкие магниточувствительные элементы, выполняющие функции магнитоуправляемых преобразователей тока (МУПТ) [1-6]. Как правило, мощность выходного сигнала в таких датчиках (Холла, магнитодиод, геркон, катушка индуктивности и т.п.) на порядок ниже, чем у ТТ, однако и потребление мощности от первичного преобразователя у современных микропроцессорных защит, по сравнению с электромагнитными, ничтожно. В то же время вопросы установки МУПТ в соответствующие координаты так, чтобы МУПТ реагировал на ток только одной фазы или, например, на разность токов фаз и т.д. освещены крайне мало. Данная работа посвящена вычислению координат установки МУПТ в электроустановках 6-110 кВ с токопроводами фаз, расположенными по вершинам равностороннего треугольника.

Расположение магнитоуправляемых преобразователей тока. По закону полного тока в точке «О» (рисунок 1), совпадающей с центром тяжести устанавливаемого МУПТ, напря-

женность магнитного поля (МП), созданного например, током i_c фазы С

$$\dot{H}_C = i_c / 2\pi R, \quad (1)$$

где R – кратчайшее расстояние от центра поперечного сечения токопровода фазы С до центра тяжести МУПТ.

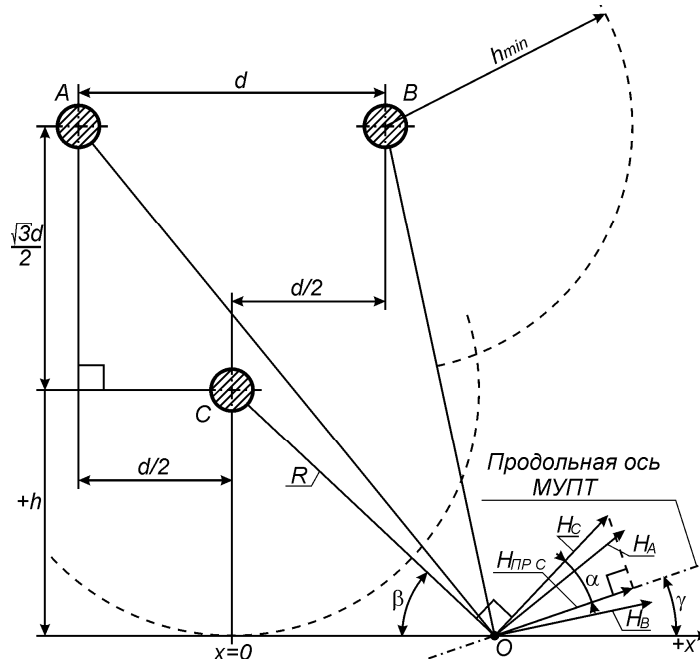


Рисунок 1 – Расположение МУПТ на расстоянии h от токопроводов фаз защищаемой электроустановки

Проекция вектора $\dot{H}_C$ на продольную ось МУПТ

$$\dot{H}_{пр\ C} = \dot{H}_C \cdot \cos \alpha = i_c \cdot \cos \alpha / 2\pi R, \quad (2)$$

где α – угол между вектором $\dot{H}_C$ и продольной осью МУПТ.

Из рисунка 1 видно, что $\gamma + \alpha + 90^\circ + \beta = \pi$, откуда $\alpha = 90^\circ - \gamma - \beta$, (γ – угол между продольной осью МУПТ и горизонтальной плоскостью; β – угол между прямой R и горизонтальной плоскостью). Следовательно, можно записать

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \cos[90^\circ - (\gamma + \beta)] = \cos 90^\circ \cdot \cos(\gamma + \beta) + \sin 90^\circ \cdot \sin(\gamma + \beta) = \\ &= \sin(\gamma + \beta) = \sin \gamma \cdot \cos \beta + \cos \gamma \cdot \sin \beta. \end{aligned} \quad (3)$$

В электроустановках угол β измерить невозможно, поэтому в (3) произведем преобразования

$$\cos \alpha = \frac{h \cdot \cos \gamma + x \cdot \sin \gamma}{R} = \frac{h \cdot \cos \gamma + x \cdot \sin \gamma}{\sqrt{h^2 + x^2}}, \quad (4)$$

где h, x – расстояния между центром поперечного сечения токопровода фазы и центром тяжести МУПТ в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Подставляя (4) в формулу (2) получим

$$\dot{H}_{пр\ C} = g_C \cdot i_c / 2\pi,$$

где

$$g_C = \frac{h \cos \gamma + x \sin \gamma}{h^2 + x^2}. \quad (5)$$

Для фаз А и В коэффициенты g_A и g_B выводятся аналогично

$$g_A = \frac{(\sqrt{3}d + 2h) \cos \gamma + (d + 2x) \sin \gamma}{2(d^2 + h^2 + x^2 + \sqrt{3}dh + dx)}; g_B = \frac{(\sqrt{3}d + 2h) \cos \gamma + (2x - d) \sin \gamma}{2(d^2 + h^2 + x^2 + \sqrt{3}dh - dx)}, \quad (6)$$

где d – расстояние между проводниками соседних фаз.

Когда по одному токопроводу протекает ток только одной фазы (назовем это *первым случаем*) суммарная напряженность в точке «О», совпадающей с центром тяжести МУПТ, обусловленная МП трех фаз, находится по формуле

$$\dot{H}_{\text{ПР}} = (g_A \cdot i_A + g_B \cdot i_B + g_C \cdot i_C) / 2\pi. \quad (7)$$

В случае, когда токопроводы подключены к выводам стороны низшего напряжения силового трансформатора с соединением обмоток Y/Δ-11, (назовем это *вторым случаем*) суммарная напряженность в точке «О» определяется по формуле

$$\dot{H}_{\text{ПР}} = \frac{g_A(i_A - i_B) + g_B(i_B - i_C) + g_C(i_C - i_A)}{2\pi} = \frac{i_A(g_A - g_C) + i_B(g_B - g_A) + i_C(g_C - g_B)}{2\pi}, \quad (8)$$

где $i_A - i_B, i_B - i_C, i_C - i_A$ – токи в токопроводах стороны низшего напряжения трансформатора после соединения их в Δ.

При расчете $\dot{H}_{\text{ПР}}$ по формулам (7) и (8) принимается ряд допущений: отсутствие МУПТ в рассматриваемых точках; токоведущая шина – это бесконечно длинный и тонкий проводник с током; магнитное поле тока шины – плоское и однородное. В результате таких допущений возникают погрешности, но как показали экспериментальные исследования [6, 7] с использованием герконов в качестве МУПТ, расчетная и опытная величины $\dot{H}_{\text{ПР}}$ различаются не более чем на 6%, что не выходит за пределы 10%, определенных [8].

Для того, чтобы на один МУПТ действовало МП, созданное фазным током только одной фазы, аналогично тому, как в классической РЗ по каждому реле, подключенному к ТТ, соединенным в полную звезду, протекают токи только одной конкретной фазы [9], необходимо чтобы в первом случае для МУПТ 1 (предназначен для преобразования тока фазы А), 2 (В), 3 (С) соответственно, выполнялись условия:

$$g_{B.M1} = g_{C.M1}; g_{A.M2} = g_{C.M2}; g_{A.M3} = g_{B.M3}. \quad (9)$$

Нижние индексы М1, М2, М3 определяют соответствие расчетной величины МУПТ 1-3.

Для второго случая эти условия будут выглядеть следующим образом:

$$g_{B.M1} = \frac{g_{C.M1} + g_{A.M1}}{2}; g_{C.M2} = \frac{g_{A.M2} + g_{B.M2}}{2}; g_{A.M3} = \frac{g_{B.M3} + g_{C.M3}}{2}. \quad (10)$$

При решении уравнений (9) и (10) с помощью (5), (6) получают расчетные формулы вычисления углов γ для МУПТ 1, 2, 3. При этом h принимается как минимально допустимое по [8] расстояние $h_{\min}$ от токоведущих частей, элементов оборудования и изоляции, находящихся под напряжением, до протяженных заземленных конструкций и до постоянных внутренних ограждений высотой не менее 2 м. На рисунке 2а заштрихована область действительных значений x и h , любая точка которой удовлетворяет (9) и (10). Однако, лучше выбирать место установки МУПТ на линии $h_{\min}$, так как именно на ней МУПТ будет обладать наибольшей чувствительностью.

Если необходимо установить МУПТ так, чтобы на него не действовало МП, созданное токами $I_{(0)}$ нулевой последовательности, аналогично тому, как в классической РЗ реле подключается к выходу фильтра $i_{(1)} + k \cdot i_{(2)}$ [9] ($i_{(1)}, i_{(2)}$ токи прямой и обратной последовательностей), то необходимо, для первого случая, приравнять к нулю уравнение (7), в котором представлены токи нулевой последовательности, образованные тремя векторами, совпадающими по фазе $i_{A(0)} = i_{B(0)} = i_{C(0)} = I_0$

$$\dot{H}_{\text{ПР}(0)} = \frac{g_A i_{A(0)} + g_B i_{B(0)} + g_C i_{C(0)}}{2\pi} = \frac{3I_0(g_A + g_B + g_C)}{2\pi} = 0. \quad (11)$$

В (11) $3I_0$ не равно нулю, значит, уравнение можно переписать как

$$g_A + g_B + g_C = 0, \quad (12)$$

при решении которого получают расчетные формулы вычисления углов γ для МУПТ. Следует отметить, что при выполнении (12) на МУПТ действует МП, пропорциональное $i_{(1)} + k \cdot i_{(2)}$, где коэффициент k всегда равен единице и не зависит от координаты x , то есть возможности регулировать k изменением координат МУПТ нет. Область действительных значений x и h , любая точка которой удовлетворяет (12), аналогична показанной на рисунке 2а.

Для второго случая при любом расположении МУПТ на него не будет действовать МП, созданное токами $I_{(0)}$ нулевой последовательности, так как изначально токи $i_A - i_B, i_B - i_C$ и

$i_C - i_A$ в токопроводах не содержат $3I_{(0)}$.

Когда необходимо чтобы на МУПТ действовало МП, созданное фазным током только одной фазы и без нулевой последовательности, для первого случая нужно совместно решать уравнения (9) и (12). По результатам этого решения на рисунке 2б построена зависимость $h = f(x)$ для МУПТ 1. По ней можно ориентировочно выбрать место установки МУПТ относительно токопроводов электроустановки.

Для второго случая МП, действующее вдоль продольной оси МУПТ будет пропорционально фазному току только одной фазы и без нулевой последовательности, если выполняются условия (10).

Для того, чтобы найти координаты установки МУПТ, в которых на него будет действовать МП, созданное только токами $I_{(0)}$ нулевой последовательности (фильтр тока $I_{(0)}$ в классической РЗ [9]) для первого случая необходимо в (7) выполнение условия

$$g_A = g_B = g_C. \quad (13)$$

Графически зависимость $h = f(x)$ при $g_A = g_B = g_C$ показана на рисунке 2в, откуда видно, что x имеет действительные корни при $h < h_{\min}$, поэтому, при установке МУПТ в рассчитанные координаты, обслуживать его без отключения электроустановки будет невозможно.

Для второго случая построение фильтра тока нулевой последовательности невозможно, поскольку в токопроводах не содержатся $3I_{(0)}$.

В случае, когда МУПТ должен реагировать на разность токов фаз С и А (в классической РЗ это схема соединений с двумя ТТ и одним реле, включенным на разность токов двух фаз [9]) необходимо, чтобы в уравнении (7) соблюдались следующие условия:

$$g_B = 0; g_A = -g_C. \quad (14)$$

При этом оно примет вид $\dot{H}_{\text{ПР}} = g_C(i_C - i_A)/2\pi$. Когда МУПТ должен реагировать на разность токов фаз А и В необходимо, чтобы в (7):

$$g_C = 0; g_B = -g_A. \quad (15)$$

На МУПТ при этом будет действовать МП с $\dot{H}_{\text{ПР}} = g_A(i_A - i_B)/2\pi$. Когда МУПТ должен реагировать на $(i_B - i_C)$ необходимо, чтобы в (7):

$$g_A = 0; g_C = -g_B. \quad (16)$$

При этом оно примет вид $\dot{H}_{\text{ПР}} = g_B(i_B - i_C)/2\pi$. Решая (14)-(16) определяют x и h . Графически зависимость $h = f(x)$ при $g_B = 0$ и $g_A = -g_C$ показана на рисунке 2г, откуда видно, что $x_{2,3}$ представляют собой окружность, которая практически вся находится на расстоянии меньше $h_{\min}$ от токопроводов. Поэтому с практической точки зрения желательно пользоваться

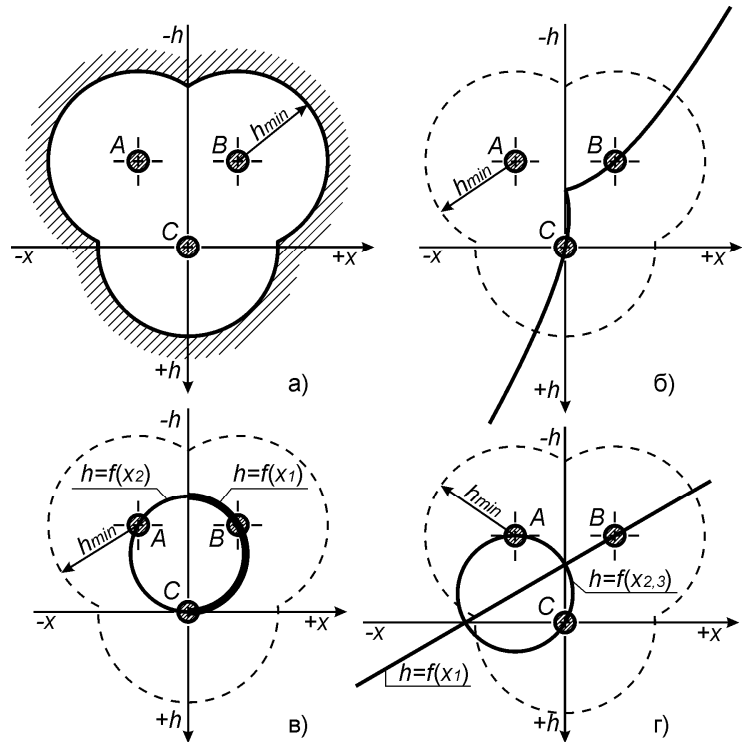


Рисунок 2 – а)-область действительных значений x и h , в любой точке которой выполняются условия $g_{B.M1} = g_{C.M1}$, $g_{A.M2} = g_{C.M2}$, $g_{A.M3} = g_{B.M3}$, $g_{B.M1} = (g_{C.M1} + g_{A.M1})/2$, $g_{C.M2} = (g_{A.M2} + g_{B.M2})/2$, $g_{A.M3} = (g_{B.M3} + g_{C.M3})/2$; б)-зависимость $h = f(x)$ для МУПТ 1 при $g_A + g_B + g_C = 0$ и $g_{B.M1} = g_{C.M1}$; в)-зависимость $h = f(x)$ при $g_A = g_B = g_C$; г)-зависимость $h = f(x)$ при $g_B = 0$ и $g_A = -g_C$

ся x_1 .

Для второго случая по токопроводам фаз электроустановки протекают токи $i_A - i_B$, $i_B - i_C$, $i_C - i_A$, поэтому для того, чтобы МУПТ реагировал на разность токов фаз достаточно выполнения условий (9). При этом вдоль продольной оси МУПТ 1 будет действовать МП с напряженностью $\dot{H}_{ПР} = (g_A - g_B)(i_A - i_B)/2\pi$; МУПТ 2 – $\dot{H}_{ПР} = (g_B - g_C)(i_B - i_C)/2\pi$; МУПТ 3 – $\dot{H}_{ПР} = (g_C - g_A)(i_C - i_A)/2\pi$.

Выводы. В электроустановках с токопроводами фаз, расположенными по вершинам равностороннего треугольника, выбором соответствующих координат установки магнитоуправляемого преобразователя тока можно добиться того, чтобы он реагировал на ток i_A фазы А; i_B – В; i_C – С; на разность токов $i_A - i_B$, $i_B - i_C$, $i_C - i_A$; на сумму токов прямой и обратной последовательностей $i_{(1)} + k \cdot i_{(2)}$; на $i_{A(1)} + k \cdot i_{A(2)}$ тока фазы А; $i_{B(1)} + k \cdot i_{B(2)}$ тока фазы В; на $i_{C(1)} + k \cdot i_{C(2)}$ тока фазы С; на токи нулевой последовательности $3I_{(0)}$; на фазный ток i_A ; i_B ; i_C при протекании по токопроводам токов $i_A - i_B$; $i_B - i_C$; $i_C - i_A$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Хомерики, О.К. Полупроводниковые преобразователи магнитного поля / О.К. Хомерики. -М.: Энергоатомиздат, 1986. -136 с.
- 2 Казанский, В.Е. Измерительные преобразователи тока в релейной защите / В.Е. Казанский. -М.: Энергоатомиздат, 1988. -240 с.
- 3 Измерение токов линий высшего напряжения по их магнитным полям Э.А. Меерович, Л.А. Назаров, Г.Х. Карабаев, Б.П. Кокурин // Электричество. -1980. -№7. -С. 32-40.
- 4 Буряк, В.С. Обзор принципов выполнения устройств, заменяющих высоковольтные трансформаторы тока / В.С. Буряк. -М.: Информэнерго, 1971. -64 с.
- 5 Опыт разработки преобразователей тока в напряжение на магниторезисторах для устройств релейной защиты / В.Н. Гречухин [и др.] // Энергетик. -1997. -№6. -С. 14-16.
- 6 Клецель, М.Я. О построении на герконах защит высоковольтных установок без трансформаторов тока / М.Я. Клецель, В.В. Мусин // Электротехника. -1987. -№4. -С. 11-13.
- 7 Свойства герконов при использовании их в релейной защите / М.Я. Клецель, Ж.Р. Алишев, А.В. Мануковский, В.В. Мусин // Электричество. -1993. -№9. -С. 18-21.
- 8 Правила устройства электроустановок. -СПб.: Деан, 2003. -928 с.
- 9 Федосеев, А.М. Релейная защита электрических систем / А.М. Федосеев. -М.: Энергия, 1976. -560 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ток, магнитное поле, преобразователь тока, напряженность, электроустановка, токопровод

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Майшев Павел Николаевич, канд. техн. наук, доцент «ПГУ им. С. Торайгырова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова 64, «ПГУ им. С. Торайгырова»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВЛИЯНИЯ СКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ НА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.З. Манусов, П.В. Морозов

SIMULATION OF HIGH-SPEED RAILWAYS ELECTROMAGNETIC INFLUENCE ON POWER SUPPLY SYSTEMS

«Novosibirsk state technical university»

V.Z. Manusov, P.V. Morozov

High-speed traction power systems simulation results are stated. The primary grid unbalance for single-phase transformers and the Scott-circuit have been analyzed. The simulation was performed in Simulink SimPowerSystems. The block-diagram of a reactive power electronic compensator is proposed.

Keywords: traction substation; Scott-transformer; three-phase network; reactive power compensator

Приведены результаты моделирования систем тягового электроснабжения скоростных железных дорог. Проведен анализ несимметрии загрузки первичной сети для однофазных трансформаторов и схемы Скотта. Моделирование выполнялось с помощью программного средства Simulink SimPowerSystems. Предложена структурная схема электронного компенсатора реактивной мощности.

Проблема качества электрической энергии на железнодорожном транспорте в последнее время становится весьма актуальной. Особенно высокое качество электроэнергии должно обеспечиваться на скоростных железных дорогах, поскольку скоростной электровоз, имея различные схемы управления (тиристорные, широтно-импульсные, частотные), весьма требователен к гармоническому составу тока. Также должна быть обеспечена пофазная симметрия загрузки питающей сети. В связи с этим к устройствам тягового электроснабжения предъявляются требования по обеспечению электромагнитной совместимости системы тягового электроснабжения с системой внешнего электроснабжения.

Коэффициенты несимметрии напряжений и несинусоидальности напряжения в точке присоединения тяговой подстанции к сети внешнего электроснабжения в соответствии с ГОСТ 13109-97 не должны превышать 0,04 [1]. Несимметрия и несинусоидальность напряжения в сети внешнего электроснабжения определяются принципом построения тяговой подстанции, а также характером тяговых нагрузок.

При эксплуатации скоростных железных дорог переменного тока необходимо решать комплексную задачу эффективной загрузки питающей сети. Эта задача включает в себя как снижение несимметрии токов и напряжений в трехфазной питающей сети, компенсацию реактивной мощности, равномерное распределение активной мощности и улучшение гармонического состава тока.

Целью работы является компьютерное моделирование трансформаторных преобразователей системы тягового электроснабжения, а также исследование несимметрии и несинусоидальности токов и напряжений в системах тягового электроснабжения.

Для снижения несимметрии на тяговых подстанциях используется ряд схемных решений, в том числе трансформаторные преобразователи по схеме треугольник/звезда, преобразователи на основе однофазных трансформаторов, а также схемы Лэблана, Скотта, Вудбриджа. Они обеспечивают нулевую несимметрию при пассивных активно-индуктивных нагрузках. Однако, на самом деле нагрузки трансформаторных преобразователей на железной дороге переменного тока сами являются источниками тока, что оказывает влияние на качество энергии. Межподстанционная зона на скоростной железной дороге, как правило, выполняется по автотрансформаторной (АТ) схеме.

Моделирование рассматриваемых схемных решений выполнялось с помощью программного средства Matlab Simulink SimPowerSystems, специально предназначенной для моделирования систем электроснабжения и входящих в их состав элементов: длинных линий электропередач, многообмоточных трансформаторов, однофазных и трехфазных источников тока и напряжения, активных, индуктивных и емкостных нагрузок, а также элементов силовой электроники. Для каждого рассматриваемого далее схемного решения приводятся принципиальная и расчетная электрическая схема, а также расчетные осциллограммы токов и напряжений в системе тягового электроснабжения и в питающей трехфазной линии электропередачи.

Автотрансформаторная схема. В настоящее время на тяговых подстанциях электрифицированной железной дороги, например, на Байкало-Амурской магистрали, устанавливаются по два однофазных трансформатора (рисунок 1), вторичная обмотка которых разделена на две части: один конец данной обмотки соединяется с контактным проводом, а другой соединяется с питающим проводом, который подвешивается на тех же опорах, что и контактный провод [2]. Середина обмотки соединяется с рельсом. На вторичной стороне трансформатора имеем 50 кВ, которые затем разделяются на два равных напряжения по 25 кВ. В межподстанционной зоне устанавливаются автотрансформаторы, которые поддерживают напряжение 25 кВ, необходимое для тяги. Благодаря такой автотрансформаторной системе можно увеличить до 50 км расстояние между тяговыми подстанциями.

Ниже представлено моделирование данной схемы электроснабжения и осциллограммы токов и напряжений (рисунок 2)

Осциллограммы показывают, что схема с однофазными трансформаторами даже при равномерной загрузке дает несимметрию 50%, так как ток в одной из фаз в полтора раза больше, чем в двух других фазах и нет 120° угла сдвига между векторами токов.

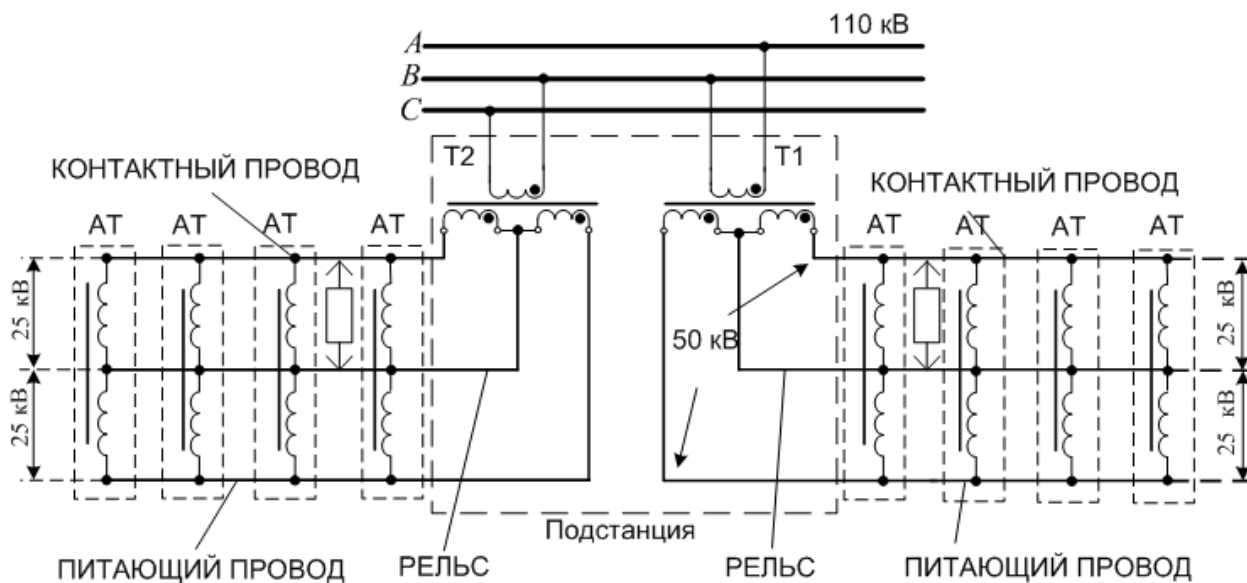


Рисунок 1 – Принципиальная схема автотрансформаторной системы электроснабжения с двумя однофазными трансформаторами

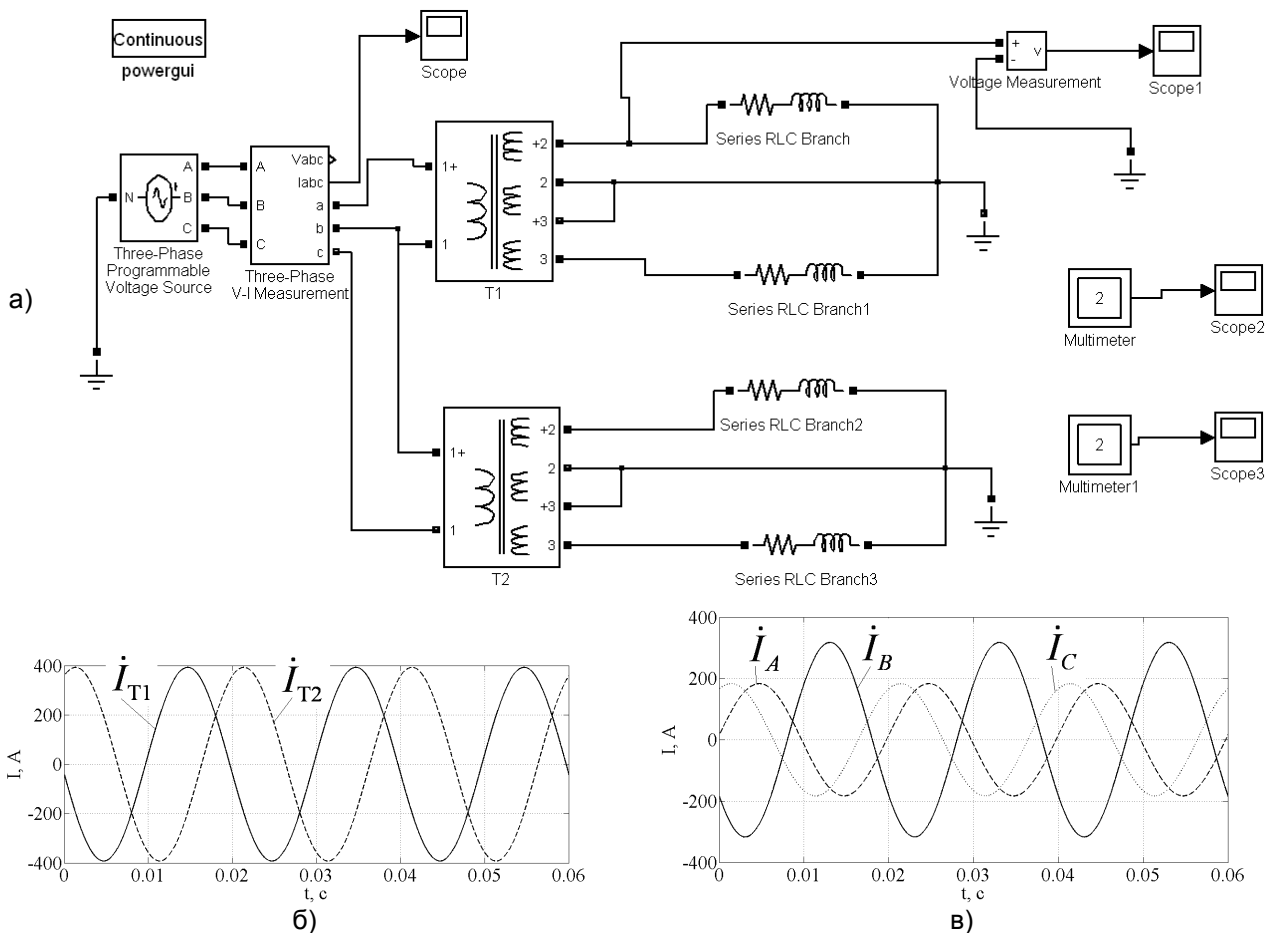


Рисунок 2 – а)-Модель системы тягового электроснабжения на двух однофазных трансформаторах; б)-осциллограммы токов во вторичных цепях однофазных трансформаторов; в)-осциллограммы токов в трехфазной ЛЭП

Трехфазно-двухфазная схема Скотта. Рассмотрим далее схемное решение, лишенное недостатков предыдущего, рассмотренного выше, где однофазная система соединена с трехфазной питающей системой. Питающие цепи переменного тока снабжают транспортные средства от трансформатора Скотта, преобразующего из трех фаз в две через питающий провод, контактный провод и рельс (рисунок 3).

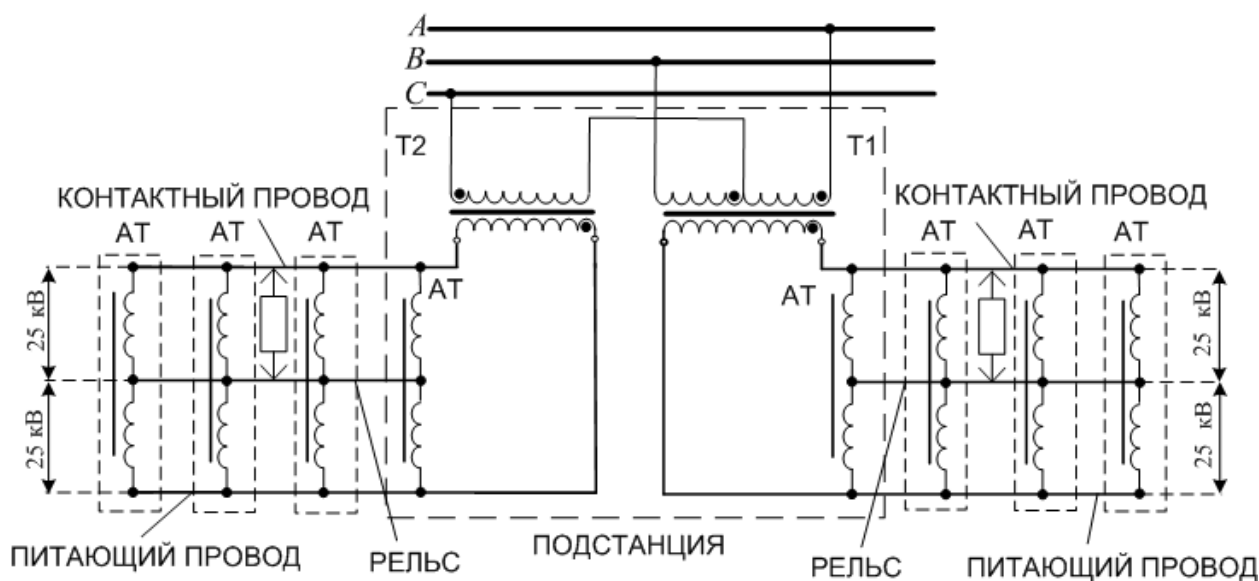


Рисунок 3 – Принципиальная схема автотрансформаторной системы электроснабжения с трансформаторами Скотта

Результаты моделирования этой схемы приведены на рисунке 4.

Представленные осциллограммы показывают, что несимметрия в тяговой системе электроснабжения по схеме Скотта полностью отсутствует, и все токи равны по величине и сдвинуты на угол 120° .

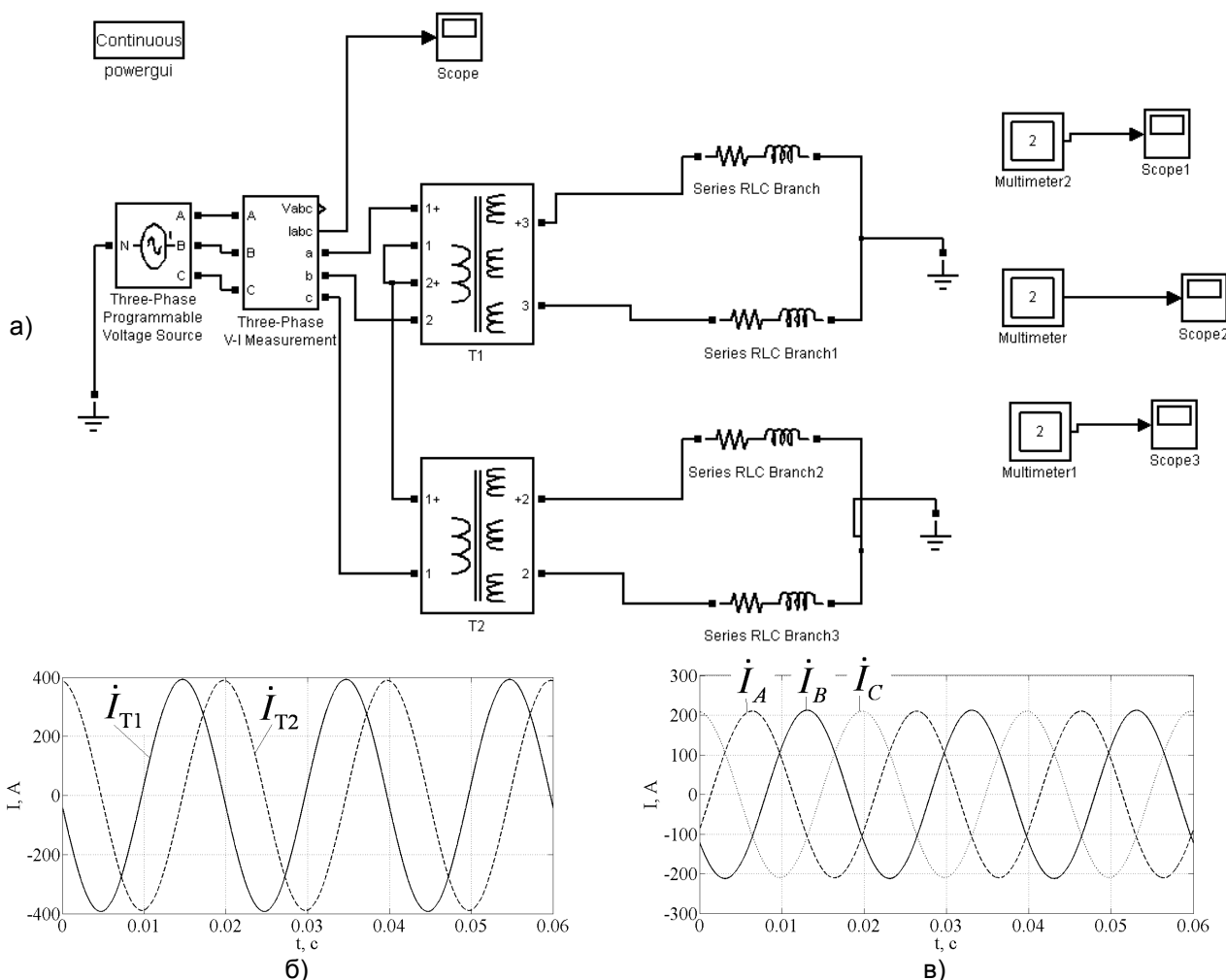


Рисунок 4 – а)-Модель системы электроснабжения; б)-осциллограммы токов во вторичных цепях трансформаторов Скотта; в)-осциллограммы токов в трехфазной ЛЭП энергосистемы

Компенсация реактивной мощности. Схема, приведенная на рисунке 3 обеспечивает полную симметрию только при одинаковых нагрузках в двух фазах. Если нагрузки не равны, в первичной сети электропитания будет наблюдаться несимметрия. Чтобы обеспечить симметрию, необходимо выровнять токи в этих фазах и обеспечить сдвиг между ними 90° . Это возможно за счет компенсации реактивной мощности и выравнивания активной мощности в фазах. На рисунке 5 предложена структурная схема электронного компенсатора реактивной мощности. Он состоит из двух одинаковых частей, соединенных между собой сглаживающим конденсаторным фильтром. Каждая часть включает в себя согласующий трансформатор и мостовой инвертор. Инверторы выполняются на запираемых тиристорах или биполярных транзисторах с изолированным затвором. Согласующие трансформаторы подключены к шинам соответствующих фаз, к которым присоединены тяговые нагрузки. Компенсация реактивных мощностей обеспечивается программно-управляемыми сигналами с цифрового устройства управления, от которых зависят углы зажигания тиристор.

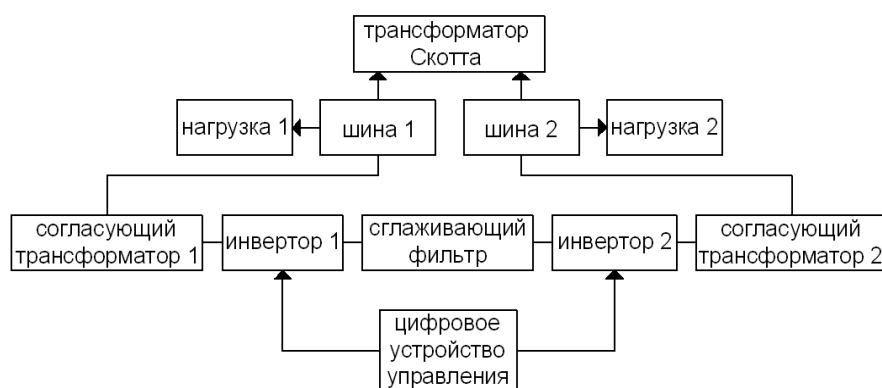


Рисунок 5 – Структурная схема электронного компенсатора реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности обеспечивается за счет компенсации реактивной мощности и выравнивания активной мощности в фазах. На рисунке 5 предложена структурная схема электронного компенсатора реактивной мощности. Он состоит из двух одинаковых частей, соединенных между собой сглаживающим конденсаторным фильтром. Каждая часть включает в себя согласующий трансформатор и мостовой инвертор. Инверторы выполняются на запираемых тиристорах или биполярных транзисторах с изолированным затвором. Согласующие трансформаторы подключены к шинам соответствующих фаз, к которым присоединены тяговые нагрузки. Компенсация реактивных мощностей обеспечивается программно-управляемыми сигналами с цифрового устройства управления, от которых зависят углы зажигания тиристор.

Выводы. Для рассмотренных двух систем проведено моделирование в среде Matlab. В случае равномерной нагрузки трансформаторов коэффициент асимметрии по току в схеме с двумя однофазными трансформаторами составил 50%, а в схеме с трансформаторами Скотта – 0%. Предложена структурная схема электронного компенсатора реактивной мощности для обеспечения токовой симметрии в трехфазной сети электроснабжения, который позволяет обеспечивать симметрию даже при неравномерных фазных нагрузках на тяговых шинах. Предметом дальнейших исследований является моделирование совместной работы инверторов при изменении режимов управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -М.: Изд-во стандартов, 1998. -35 с.

2 Применение трансформаторов Скотта на тяговых подстанциях электрических железных дорог / Г.Н. Ворфоломеев, С.А. Евдокимов, П.В. Морозов, В.И. Сопов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№6. -С. 273-276.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тяговая подстанция; трансформатор Скотта; трехфазная сеть; компенсатор реактивной мощности

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

Морозов Павел Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПОСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОВОЗА НА ОБТОЧКУ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»
ОАО «Омскнефтехимпроект»

Ш.К. Исмаилов, А.Н. Гуреев, А.С. Талызин, Н.В. Есин

DEFINITION OF NECESSITY OF STATEMENT OF AN ELECTRIC LOCOMOTIVE ON TURNING OF BANDAGES OF WHEEL PAIRS WITH USE OF SATELLITE NAVIGATION

«Omsk state transport university»
 «Omskneftechimproekt»
 Sh.K. Ismailov, A.N. Gureev, A.S. Talyzin, N.V. Yesin

In article possibility global navigating satellite systems GLONASS for definition of speed of sliding of wheel pairs an electric locomotive at realization of traction efforts is considered. The technical device of the account of time of extreme work of an electric locomotive on coupling with application of the block using information GLONASS is offered.

Keywords: electric locomotive, bandages of wheel pair, deterioration, GLONASS, the account device of, time of extreme work

Рассмотрена возможность глобальной навигационной спутниковой систем ГЛОНАСС для определения скорости скольжения колесных пар электровоза при реализации тяговых усилий. Предложено техническое устройство учета времени экстремальной работы электровоза по сцеплению с применением блока, использующего информацию ГЛОНАСС.

С недавних пор в повседневную жизнь человечества стали широко внедряться спутниковые навигационные технологии. Так, например, они нашли широкое применение в военной сфере, авиации, судоходстве, и в последние два десятилетия – на железнодорожном транспорте, в частности спутниковая навигация используется в локомотивных устройствах безопасности движения, имеются попытки применения ее в системах автоведения.

На сегодняшний день существует несколько навигационных систем, использующих искусственные спутники Земли, однако глобальный сервис позиционирования практически в любой точке нашей планеты представляют только две: глобальная навигационная спутниковая система – ГЛОНАСС (Россия) и Navigation system with timing and ranging (навигационная система с определением времени и дальности) – NAVSTAR (США). Именно к ним принято относить общепринятое сокращение GPS (Global Positioning System), которое при этом не является именем собственным ни одной из существующих систем.

С появлением портативных приемников GPS появилась возможность перестроить также систему управления движением поездов. Новая система позволяет не только точно отслеживать и оптимизировать движение поездов, но и автоматически включать режим экстренного торможения при опасном сближении составов. В частности эта возможность заложена в системы КЛУБ-У и КЛУБ-УП, которыми оснащено множество электровозов в России.

В России реализуется механизм государственного контроля и координации работ по ГЛОНАСС на межведомственной основе Координационным Советом, созданным в соответствии с постановлением Правительства РФ №237 от 7 марта 1995 г. Рабочим органом Координационного Совета определен научно-технический центр «Интернавигация», главной задачей которого является внедрение технологии спутниковой навигации в отечественную экономику, науку и технику, а также создание нового поколения навигационной аппаратуры потребителей.

В спутниковых навигационных системах (СНС) высокие эксплуатационные характеристики на структурном уровне достигаются путем совместного функционирования трех основных сегментов (рисунок 1): космического сегмента, сегмента управления, сегмента потребителей.

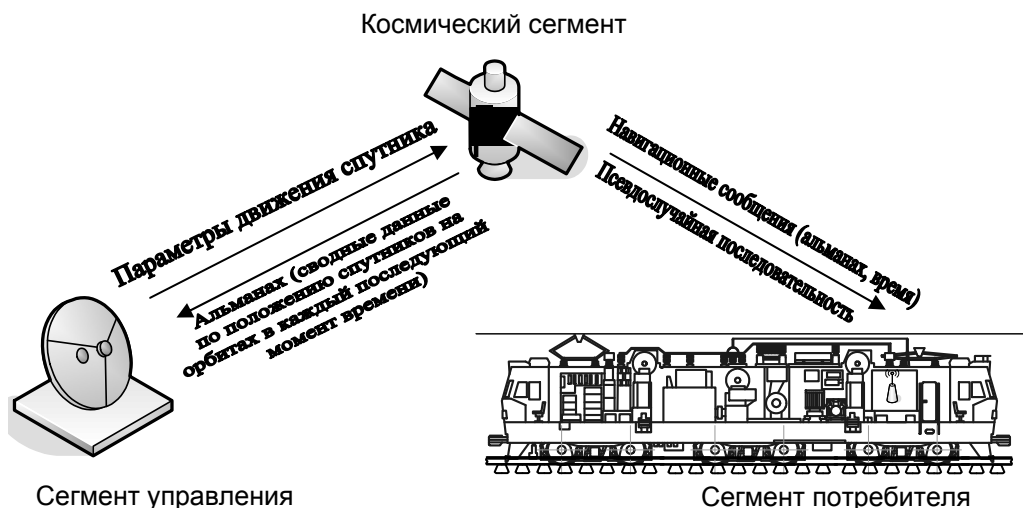


Рисунок 1 – Структура системы ГЛОНАСС (GPS)

Навигационной задачей в СНС [1] принято называть нахождение пространственно-временных координат потребителя (в нашем случае электровоза) и составляющих вектора его скорости, в совокупности называемых вектором потребителя. В результате решения навигационной задачи в общем случае должны быть найдены пространственные координаты потребителя (x, y, z) , поправка t к шкале времени потребителя относительно шкалы времени СНС и составляющие вектора скорости как производные от координат потребителя во времени.

Потребитель имеет возможность измерять задержку сигнала и доплеровский сдвиг частоты (радионавигационные параметры), а также выделять из сигнала данные альманаха и эфемерид (навигационное сообщение). Геометрические параметры, которые соответствуют радионавигационным, принято называть навигационными параметрами. Так, задержке сигнала t соответствует дальность

$$R = ct,$$

где c – скорость света;

f_d – доплеровское смещение частоты, соответствующее радиальной скорости сближения,

$$V_r = f_d \lambda;$$

λ – длина волны излучаемого навигационным космическим аппаратом (НКА) сигнала.

Функциональную связь между навигационными параметрами и вектором потребителя называют навигационной функцией. Конкретный вид функции определяется многими факторами: системой координат, характером движения потребителя и т.п.

В открытом пространстве геометрическое место точек с одинаковым значением R образует поверхность положения в виде сферы с радиусом R и центром, совпадающим с фазовым центром передающей антенны НКА. При пересечении двух поверхностей положения образуется линия положения – совокупность точек, имеющих два заданных значения навигационного параметра R . Пересечение двух сфер дает линию положения в виде окружности (рисунок 2). Местоположение конкретной точки определяется по пересечению двух линий положения или, соответственно, трех поверхностей положения.

Условно примем форму Земли за идеальную сферическую. Тогда на рисунке 2 сферу с радиусом R можно считать земной поверхностью с центром масс в точке O , а сферу с радиусом R_i поверхностью положения, образованной вокруг НКА с центром масс в точке O_i .

Уравнение сферы имеет вид

$$R_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2}, \quad (1)$$

где R_i – дальность между i -ым НКА и потребителем;

x_i, y_i, z_i – известные на момент измерения координаты НКА;

x, y, z – координаты потребителя.

Пространственные координаты потребителя находят в точке пересечения трех поверхностей положения, описываемых уравнением (1). Для наземного потребителя линия положения в случае с одним НКА представляет собой окружность на поверхности Земли (рисунок 2). В случае с двумя НКА наземный потребитель может находиться в одной из двух точек, образованных при пересечении двух окружностей. Возникает неоднозначность, которая может быть устранена знанием ориентировочных координат потребителя. Если ориентировочные координаты неизвестны, неоднозначность устраняется измерением дальности до третьего НКА. Таким образом, для определения координат потребителя на поверхности Земли, при условии абсолютной неизвестности предварительных координат, необходимо измерение как минимум трех

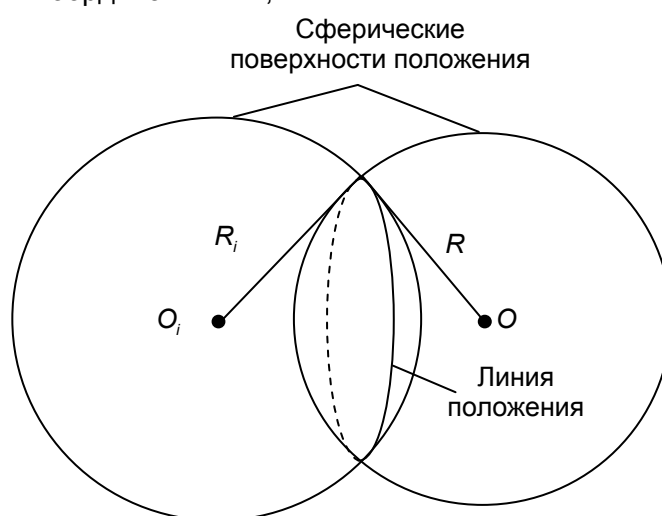


Рисунок 2 – Поверхности и линии положения

дальностей до НКА.

В общем случае, когда высота потребителя над поверхностью Земли неизвестна, земная поверхность не может быть принята за одну из поверхностей положения. Тогда в случае со знанием предварительных координат требуется измерение дальностей минимум до трех спутников; в случае с абсолютной неизвестностью предварительных координат необходимо измерение дальностей до четырех спутников.

Одной из важных задач, решаемых при помощи СНС, является определение пространственной ориентации протяженного объекта (морского судна, самолета, электровоза и т.п.) В общем случае объект является произвольно движущимся в трех измерениях и задача должна решаться в реальном времени. Рассмотрим один из методов решения задачи, позволяющий определять ориентацию объекта с точностью от долей до нескольких угловых минут.

В двух точках А и В объекта, расположенных на его концах, устанавливают приемники сигналов СНС (рисунок 3). Положение линии АВ относительно объекта фиксировано и однозначно соответствует положению объекта в пространстве. Положение линии АВ относительно геоцентрической системы координат OXYZ описывается направляющими косинусами $\cos \Psi_x$, $\cos \Psi_y$, и $\cos \Psi_z$. Точка М расположена в середине базы АВ.

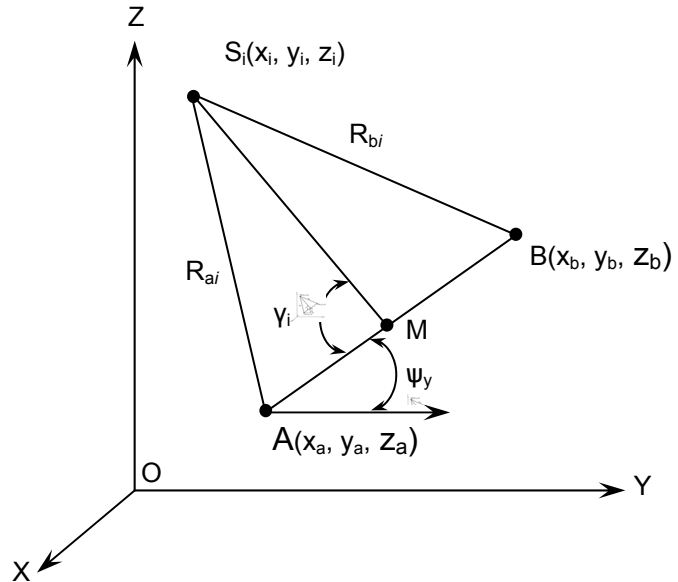


Рисунок 3 – Определение ориентации объекта в пространстве

Приемники А и В синхронно измеряют дальности R_{ai} , R_{bi} до i -го НКА с известными координатами (x_i, y_i, z_i) . Существует разность фаз сигналов, принимаемых в точках А и В

$$\Delta \phi_i = \frac{2\pi(R_{ai} - R_{bi})}{\lambda}, \quad (2)$$

где λ — длина волны излучаемого НКА сигнала.

Разность фаз $\Delta \phi_i$ связана с углом γ_i между линией АВ и линией S_iM соотношением

$$\cos \gamma_i = \frac{\Delta \phi_i \lambda}{2\pi d}. \quad (3)$$

Кроме того, существует взаимосвязь между угловым параметром γ_i , и направляющими косинусами, описываемая выражением

$$\cos \gamma_i = \mu_{xi} \cos \Psi_x + \mu_{yi} \cos \Psi_y + \mu_{zi} \cos \Psi_z, \quad (4)$$

где μ_{xi} , μ_{yi} , μ_{zi} — коэффициенты, определяемые через координаты НКА и точки М, которые могут быть вычислены на основе дальностей R_{ai} и R_{bi} .

Для нахождения трех неизвестных величин из выражения (4) необходимо решить систему из трех уравнений, проведя, как минимум, серию из трех измерений дальностей от точек А и В до трех НКА и определив соответствующие фазовые сдвиги.

Задачу можно упростить, используя так называемое уравнение связи

$$\cos^2(\Psi_x) + \cos^2(\Psi_y) + \cos^2(\Psi_z) = 1, \quad (5)$$

вместо одного из уравнений в системе, и определяя дальности только до двух НКА.

В соответствии с вышеизложенной концепцией развития и принципами функционирования системы ГЛОНАСС авторами предпринята попытка использования возможностей этой системы для определения скорости скольжения колесных пар электровозов при реализации тяговых усилий и необходимости постановки электровоза на обточку бандажей колесных пар.

Теоретическое обоснование процесса постановки электровоза на обточку бандажей по времени экстремальной работы по сцеплению приведено в [2].

Для определения времени экстремальной работы локомотива по сцеплению может быть использовано техническое устройство (рисунок 4), позволяющее учитывать как суммарное время работы локомотива, так и время реализации предельных и субпредельных тяговых усилий, предшествующих потере сцепления колеса и рельса, момент появления которого и фиксирует предлагаемое устройство. Разрабатываемое устройство учета времени экстремальной работы электровоза работает следующим образом. За величиной полной скорости колеса с учетом проскальзывания следит датчик, в качестве которого может быть использован датчик пути и скорости (ДПС), установленный на локомотиве.

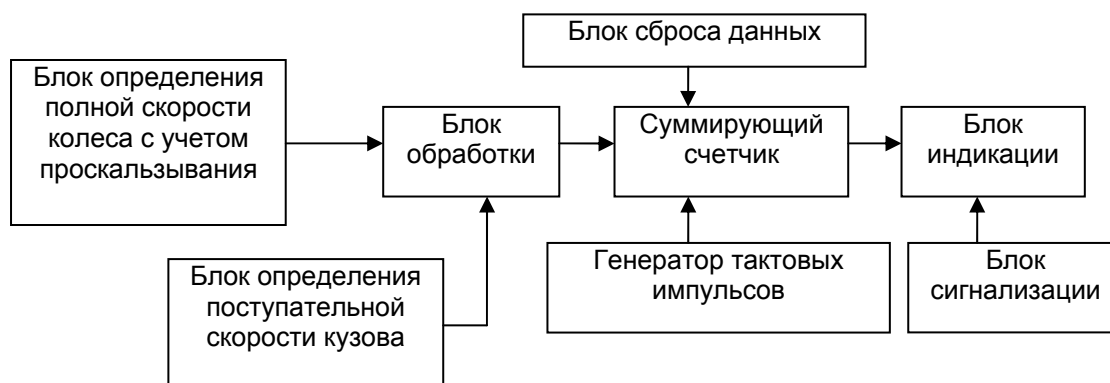


Рисунок 4 – Блок-схема устройства учета времени экстремальной работы электровоза по сцеплению

Поступательную скорость кузова электровоза предлагается определять с помощью системы ГЛОНАСС, оборудование для приема сигнала которой также имеется на локомотиве. Величина сигнала, поступающего от ДПС после преобразования в блоке определения полной скорости колеса с учетом проскальзывания поступает в блок обработки, где сравнивается с величиной сигнала, который формируется в блоке определения поступательной скорости кузова локомотива на основании данных, принимаемых со спутника. При возникновении разности сравниваемых величин (например, превышающих 1,5-2%), что говорит о работе локомотива с предельными и субпредельными тяговыми усилиями, блок обработки выдает сигнал на управляющий вход суммирующего счетчика, который при этом начинает вести учет времени работы электровоза в режиме экстремальной работы. Кроме того счетчик учитывает импульсы от генератора тактовых импульсов. Учетное время работы электровоза в этом режиме накапливается в памяти счетчика. Описанные шесть элементов устройства служат для сбора информации о количестве времени экстремальной работы электровоза.

При достижении определенного (установленного расчетным и опытным путем) количества часов экстремальной работы, требующего постановки электровоза на обточку бандажей по их критическому износу устройства выдает сигналы об этом на блоки сигнализации и индикации. При появлении такого сигнала электровоз должен быть в ближайшее время направлен в депо для обточки бандажей колесных пар. После проведения обточки память счетчика обнуляется с использованием блока сброса данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Яценков, В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС / В.С. Яценков. -М.: Горячая линия-Телеком, 2005. -272 с.
- 2 Исмаилов, Ш.К. Способ учета времени экстремальной работы электровоза ВЛ10 по сцеплению / Ш.К. Исмаилов, А.С. Талызин, Н.В. Есин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. -С. 291-294.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электровоз, бандажи колесной пары, износ, ГЛОНАСС, устройство учета времени
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Исмаилов Шафигула Калимуллович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «ОмГУПС»
 Гуреев Александр Николаевич, инженер ОАО «Омскнефтехимпроект»
 Талызин Александр Сергеевич, старший преподаватель ГОУ ВПО «ОмГУПС»
 Есин Николай Васильевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «ОмГУПС»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ГОУ ВПО «ОмГУПС»
 644029, г. Омск, пр. Мира, 19а, ОАО «Омскнефтехимпроект»

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ БИЕНИЯ КОЛЛЕКТОРА НА КАЧЕСТВО КОММУТАЦИИ И РЕСУРС ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»
Тайгинский институт железнодорожного транспорта, филиал ГОУ
ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»
Локомотивное ремонтное депо Московка Дирекции по ремонту
локомотивов Западно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО
«Российские железные дороги»

**Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, В.В. Бублик, Е.И. Селиванов, Д.В. Мурзин,
Д.В. Юрасов**

TO A QUESTION OF INFLUENCE OF PALPATION OF A COLLECTOR ON QUALITY OF SWITCHING AND A RESOURCE OF TRACTION ELECTRIC MOTORS

«Omsk state transport university»

Tajginsky institute of a railway transportation, branch «Omsk state transport university»

Locomotive repair depot Moskovka of Management on repair of locomotives of the Western-Siberian railway – Open Society branch «Russian railways»

Sh.K. Ismailov, O.V. Gateljuk, V.V. Bublik, E.I. Selivanov, D.V. Murzin, D.V. Jurasov

In article the substantiation of new system of diagnosing and repair of collectors of traction electric motors on the basis of a method PERT is resulted and the description of the specified method is given. Close correlation communication of quality of switching and the working surface of a collector processed on the lathe is received.

Keywords: electric locomotive, the traction electric motor, collector knot, diagnosing, repair cycle, a resource

Приведено обоснование новой системы диагностирования и ремонта коллекторов тяговых электродвигателей на основании метода ПЕРТ и дано описание указанного метода. Получена тесная корреляционная связь качества коммутации и обработанной на токарном станке рабочей поверхности коллектора.

Электроподвижной состав (ЭПС) должен с высокой степенью надежности обеспечивать безопасность и бесперебойное выполнение графика движения поездов, что достигается системой плановых осмотров и ремонтов. Первостепенной задачей при производстве ремонта и обслуживания ЭПС является восстановление работоспособности и предупреждение отказов оборудования в период его эксплуатации.

От состояния рабочей поверхности коллекторов тяговых электродвигателей (ТЭД) и вспомогательных электрических машин (ВЭМ), величины ее отклонения от идеального круга во многом зависит удовлетворительная работа коллекторно-щеточного узла (КЩУ), ресурс тяговых электрических машин (ТЭМ), безопасность движения поездов. В настоящее время оценка состояния коллекторов ТЭМ электропоездов производится на основании замеров их геометрических параметров в депо при постановке локомотива на плановые виды ремонта. Обращает на себя внимание большое количество отказов ТЭМ по причине выплавления припоя из петушков, подгаров, выработки коллектора, а также «перебросов» по коллектору, и затыжек его межламельного промежутка.

Что касается ТЭД, то в результате анализа существующей системы диагностирования и ремонта коллекторов разработан вариант технологической карты в объеме ТР-3 и СР с применением методики и технологии ремонта коллекторов с помощью диагностической системы на базе прибора ИПК-ЗПМ и регистрирующего оборудования фирмы Velleman (Бельгия) с памятью и выходом на ЭВМ, его обточки и упрочнения рабочей поверхности. Совокупность предлагаемых технических решений и мероприятий позволит уменьшить интенсивность износа коллекторов, щеток и, как следствие, уменьшить вероятность и количество возникновения круговых огней.

Диагностирование состояния КЩУ ТЭД электропоездов, определение зависимости между величиной биения рабочей поверхности коллектора и качеством коммутации поможет определить его качественное и количественное состояние и продолжительность жизненного цикла ТЭД.

В процессе депоовского ремонта коллекторов ТЭД происходят случайные изменения срока выполнения отдельных операций. Вычисление времени начала и завершения ремонта двигателя должно быть связано с установлением возможных их пределов.

Новая система организации технического диагностирования и ремонта КЩУ ТЭД электропоезда основана на том, чтобы распараллелить сам процесс и тем самым повысить его

эффективность, но при этом увеличивается степень колебаний во времени исполнения ремонтных операций, которые необходимо выполнить по соответствующей технологии. В таком случае для оценки среднего времени выполнения комплекса работ по диагностированию и ремонту КЩУ ТЭД лучше применять метод ПЕРТ, который предусматривает определение трех временных характеристик выполнения работы $(i; j)$ по его ремонту, а именно:

- $t_0(i; j)$ – оптимистическая оценка, то есть минимальная продолжительность работы $(i; j)$;
- $t_n(i; j)$ – пессимистическая оценка – максимальная продолжительность работы $(i; j)$;
- $t_{нв}(i; j)$ – наиболее вероятная оценка – продолжительность работы $(i; j)$ при нормальных условиях.

После получения временных оценок выполнения каждой операции по ремонту КЩУ рассчитываются элементы сетевого графика:

- 1) для каждого события i – ранний и поздний сроки его свершения, дисперсию этих сроков и резервы времени;
- 2) для каждой работы $(i; j)$ – математическое ожидание продолжительности ее выполнения $\overline{t(i, j)}$ и дисперсию $\sigma^2(i, j)$.

Момент завершения всей совокупности работ по ремонту КЩУ подчинен нормальному распределению.

Из математической статистики известно, что если распределение, сосредоточенное на промежутке $(0 \leq x \leq 1)$, является унимодальным, то есть имеет один максимум, то его среднее квадратическое отклонение σ может быть грубо оценено числом $1/6$. В связи с этим оценка среднего распределения времени выполнения каждого вида работ по ремонту КЩУ ТЭМ, выполненная первым способом может быть вычислена по формуле

$$\overline{t(i, j)} = \frac{t_0(i; j) + 4t_{нв}(i; j) + t_n(i; j)}{6}. \quad (1)$$

В соответствии с условиями центральной предельной теоремы время выполнения всего комплекса работ по техническому диагностированию и ремонту ТЭМ подчиняется нормальному распределению, значит, вероятность завершения работ по ремонту КЩУ ТЭД электроваз к моменту времени T можно вычислить по формуле

$$P(t_{кр} \leq T) = \Phi\left(\frac{T - \overline{t_{кр}}}{\sigma_{кр}}\right). \quad (2)$$

Использование при исследовании технологических цепочек ремонта узлов электроваз метода ПЕРТ позволяет обоснованно оценить преимущества новых методов и технологий ремонта узлов ЭПС, а периодический анализ – полнее использовать имеющиеся в депо ресурсы для качественного проведения работ.

Причем анализ сетевого графика осуществляется совместно с его оптимизацией, которая позволяет улучшить организацию выполнения комплекса ремонтных работ с учетом установленных технологических нормативов. Оптимизация сетевого графика проводится с целью сокращения длины критического пути. В первую очередь принимаются меры по сокращению продолжительности работ, которые находятся на критическом пути.

При сокращении продолжительности работ критический путь может измениться, и в дальнейшем процесс оптимизации будет направлен на сокращение продолжительности работ нового критического пути. В идеале длина любого из полных путей может стать равной длине критического пути, тогда все работы будут вестись с равным напряжением, а срок завершения ремонта ТЭМ ЭПС сократится.

Что касается ТЭД, то после выполнения всего комплекса работ по ремонту КЩУ он подвергается коммутационным испытаниям, согласно программы приемо-сдаточных и дополнительной программы по [1], предусматривающих снятие U-образных кривых.

В качестве примера на рисунке 1 показаны U-образные кривые коммутационных испытаний ТЭД ТЛ-2К1 № 139/830 с величиной общего биения коллектора (якорь №139) $H_{общ}$, равной 112 мкм (до обточки).

Провалы отдельных коллекторных пластин достигали 60 мкм, кроме того, зафиксирована конусность коллектора K , допущенная предыдущей обработкой на токарном станке, которая составила 70 мкм. При измерении износа по обеим следам щеток выявлен износ I ,

который составил по первому следу 85 мкм, по второму – 80 мкм.

Коммутационные испытания данного ТЭД показали, что при увеличении тока подпитки $I_{\text{подп./отп}}$ до 15 А уровень искрения $A_{\text{нк/пк}}$ снизился и составил 2100 усл. ед. от недокоммутации и столько же – от перекоммутации. Дальнейшее увеличение тока подпитки до 30 А и более приводит к уменьшению уровня искрения от недокоммутации до 1500 усл. ед. и к значительному увеличению искрения щеток от перекоммутации.

При снижении тока подпиточного генератора до нуля, изменяют его направление в цепи ДП и повторяют опыт при отпитке ДП. На основании полученных экспериментальных данных строятся U-образные кривые.

После проведения коммутационных испытаний данный ТЭД за №139/830 был направлен на разборку в электромашинный цех для проведения обточки коллектора на токарном станке. В результате уровень биения коллектора по прибору ИПК-ЗПМ (профилометру) $H_{\text{общ}}$ составил 60 мкм, что допустимо для ТР-3 (согласно [3] допускается $H_{\text{общ}} = 80$ мкм). Дальнейшая обработка приводит к большому расходу дорогостоящей коллекторной меди.

После обточки коллектора с биением $H_{\text{общ}} = 60$ мкм двигатель №139/830 был

вновь отправлен на испытательную станцию для повторных коммутационных испытаний. Обе U-образные кривые, полученные в результате исследований, обозначены стрелками с надписями до и после обточки (см. рисунок 1). Анализ данных U-образных кривых свидетельствует о том, что при тех же параметрах ($I_a = 480$ А, $U = 1500$ В, $I_{\text{подп./отп}} = 0$) интенсивность искрения после обточки коллектора $A_{\text{нк/пк}}$ значительно снизилась и составила 1600 усл. ед. Таким образом, снижение уровня искрения КЩУ произошло с 3100 до 1600 усл. ед. Дальнейшее увеличение тока подпитки ориентировочно до 15 А привело к снижению уровня искрения щеток от недокоммутации до 800 усл. ед. Данный двигатель, как было сказано выше, был значительно недокоммутирован.

Таким образом, результаты исследований показывают, что расположение U-образных кривых характеризует состояние не только магнитной системы ТЭД, но и механическое состояние КЩУ, отличающееся значительным разбросом геометрии (профиля) рабочей поверхности коллектора. Проведенные повторные коммутационные испытания ТЭД после механической обработки коллектора свидетельствуют о смещении U-образных кривых вниз. В результате уровень искрения снизился с 2 до 1,5 баллов по ГОСТ 183-74. Дальнейшая обточка коллектора на токарном станке нецелесообразна, так как может привести к снижению диаметра коллектора и, как следствие, снижению его жизненного цикла. Однако в связи с тем, что искрение щеток значительное и составляет порядка 1,5 балла, необходимы дальнейшие технологические мероприятия, такие как упрочнение рабочей поверхности коллектора методом поверхностной пластической обработки (ППО), не только упрочняющие рабочую поверхность до твердости поверхностного слоя в 1,0-1,4 мм [2, 3], но и снижающие величину биения коллектора на 10-15 мкм, а порой – до 20 мкм без обточки резцом. Однако данные пути улучшения контакта «щетка-коллектор» недостаточны, так как остается искрение, вызванное отклонениями геометрических параметров магнитной системы ДП ТЭД.

По результатам обработки статистических данных за несколько лет получены параметры разброса биения коллектора и их влияние на качество коммутации, выраженные зависимостью $A_{\text{пк/нк}} = f(H_{\text{общ}})$, представленной на рисунке 2, определяющей значимые связи между биением коллектора и уровнем искрения.

Полученный коэффициент корреляции $\rho = 0,99$ доказывает тесную связь качества ком-

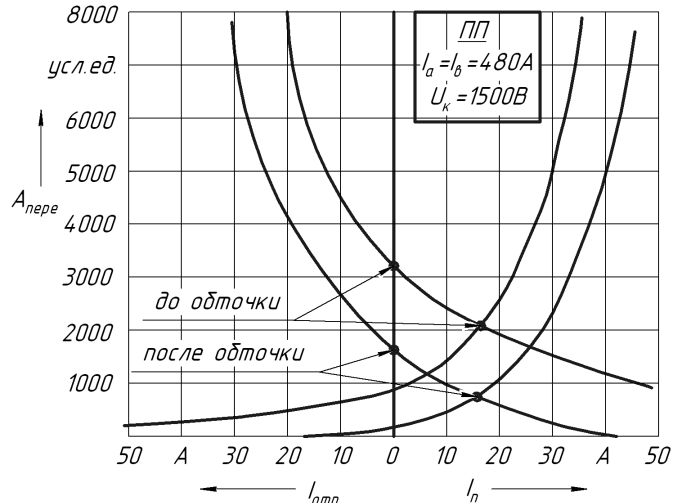


Рисунок 1 – U-образные зависимости интенсивности искрения щеток от тока подпитки-отпитки ДП ТЭД ТЛ-2К1(№139/830) до и после обточки

мутации $A_{ПК/НК}$ и обработанной рабочей поверхности коллектора, а уравнение регрессии

$$Y = bx - a; A_{ПК/НК} = 37,65H - 861, \quad (3)$$

где Y – качество коммутации ($A_{ПК/НК}$), усл. ед.;

x – общее биение коллектора (H), мкм,

построенное по средним значениям параметра ($A_{ПК/НК}$)_{ср} говорит о том, что при снижении биения рабочей поверхности коллектора качество коммутации улучшается, что подтверждается экспериментальными данными коммутационных испытаний, полученными до и после обточки коллектора в токарном станке. При биении 40 мкм уровень искрения составляет 750 усл. ед. по прибору ПКК-2М, или 1,25, а при биении в 80 мкм – 2100 усл. ед. – 1,5 балла.

Так как согласно [3] допускается при ремонте ТЭД в объеме ТР-3 величина биения – 80 мкм, то уровень искрения остается достаточно высоким и требует дальнейших действий по улучшению рабочей поверхности коллектора. Влияние качества обработки рабочей поверхности коллектора на качество коммутации ТЭМ показывают результаты исследований и проведенного однофакторного дисперсионного анализа (см. рисунок 2).

Для количественной оценки эффективности использования в технологическом процессе ремонта ТЭД технических решений по улучшению механического состояния рабочей поверхности коллекторов рассмотрим их на примере использования одного из единичных показателей коммутационной надежности – гамма-процентного ресурса L_γ , зависимость которого от качества коммутации представлена на рисунке 3 [4].

Гамма-процентный ресурс ($\gamma = 90\%$) работы ТЭД определен по выражению

$$L_\gamma = \frac{1}{\lambda} \left(-\ln \frac{\gamma}{100} \right), \quad (4)$$

где λ – интенсивность отказов.

Таким образом как видно из рисунка 3 количественная оценка профиля коллекторов с помощью предлагаемой диагностической системы позволяет повысить точность измерений, а это в свою очередь дает возможность значительно улучшить качество поверхности коллекторов при обточке в токарном станке и тем самым повысить качество коммутации и увеличить ресурс ТЭД почти втрое.

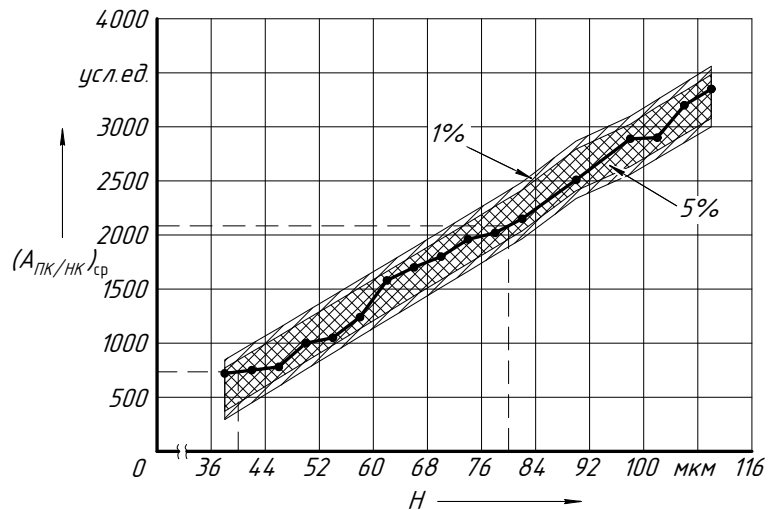


Рисунок 2 – Зависимость качества коммутации от общего биения коллекторов ТЭД ТЛ-2К1

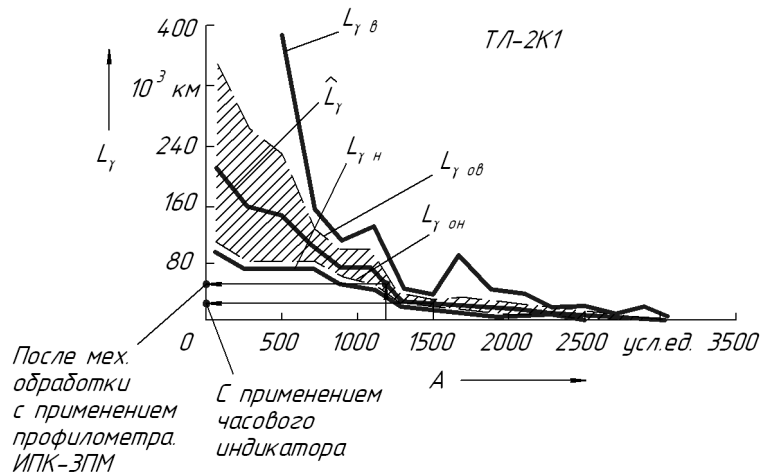


Рисунок 3 – Зависимость гамма-процентного ресурса ТЭД ТЛ-2К1 от качества коммутации

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Исмаилов, Ш.К. Настройка коммутации тяговых электродвигателей ТЛ-2К1 электровазов ВЛ10 / Ш.К. Исмаилов // Методика и технология корректировки зазоров под дополнительными полюсами тяговых электродвигателей ТЛ-2К1 / Омск. гос. ун-т путей сообщения. - Омск, 2000. -27 с.

2 Методика и технология количественной оценки состояния профиля коллекторов ТЭД в процессе деповского ремонта / Ш.К. Исмаилов, В.В. Бублик, О.В. Гателюк, Е.И. Селиванов // Инновационные проекты и новые технологии на железнодорожном транспорте: материалы науч.-практ. конф. 8 февр. 2008 г. / Омск. гос. ун-т путей сообщения. -Омск, 2008. -С. 126-133.

3 Правила ремонта электрических машин электроподвижного состава: ЦТ-ЦТВР/4782. - М., 1992. -296 с.

4 Исмаилов, Ш.К. Повышение ресурса изоляции электрических машин подвижного состава: монография / Ш.К. Исмаилов; Омск. гос. ун-т путей сообщения. -Омск, 2007. -391 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *электровоз, тяговый электродвигатель, коллекторно-щеточный узел диагностирование, ремонтный цикл, ресурс*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Исмаилов Шафигула Калимуллович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «ОмГУПС»*

Гателюк Олег Владимирович, канд. физ.-мат. наук, доцент ГОУ ВПО «ОмГУПС»

Бублик Владимир Васильевич, преподаватель ГОУ ВПО «ОмГУПС»

Селиванов Евгений Иванович, директор ТИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ОмГУПС»

Мурзин Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «ОмГУПС»

Юрасов Дмитрий Вениаминович, мастер локомотивного ремонтного депо Московка

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ГОУ ВПО «ОмГУПС»*

652401, Кемеровская область, г. Тайга, ул. Молодежная, 13, ТИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ОмГУПС»

644120, г. Омск, ст. Московка, Локомотивное ремонтное депо Московка

МЕТОДИКА НАСТРОЙКИ КОММУТАЦИИ ТЭД ТЛ-2К1 НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПОЛНОГО ЦИКЛА РЕМОНТА МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ДП

Тайгинский институт железнодорожного транспорта, филиал ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Е.И. Селиванов

TECHNIQUE OF ADJUSTMENT OF SWITCHING OF TRACTION ELECTRIC MOTOR TL-2K1 ON THE BASIS OF A METHOD OF A FULL CYCLE OF REPAIR OF MAGNETIC SYSTEM

Tajginsky institute of a railway transportation, branch «Omsk state transport university»
E.I. Selivanov

In article it is resulted options of switching traction electric motor TL-2K1 on the basis of a method of a full cycle of repair of magnetic system and the description with sufficient for practice by accuracy of calculation recommended sizes of the second diamagnetic backlash is given.

Keywords: *electric locomotive, traction electric motor, switching tests, a diamagnetic backlash, a resource*

Приведено обоснование настройки коммутации ТЭД ТЛ-2К1 на основе метода полного цикла ремонта магнитной системы ДП и дано описание с достаточной для практики точностью расчета рекомендуемой величины второго диамагнитного зазора.

Развитие научно-технического прогресса является решающим фактором повышения эффективности работы железнодорожного транспорта. В настоящее время актуальной является проблема снижения эксплуатационных расходов, в том числе уменьшения затрат на неплановый ремонт тягового подвижного состава (ТПС), экономии электроэнергии. На первый план выдвигаются задачи по внедрению ресурсосберегающих технологий ремонта и технических средств для диагностирования узлов подвижного состава, модернизации существующих локомотивов.

С этой целью на испытательных станциях локомотивных ремонтных депо Московка и Тайга Западно-Сибирской железной дороги внедрена методика и технология корректировки зазоров под дополнительными полюсами (ДП) тяговых электродвигателей (ТЭД), разработанная на основании статистической обработки многочисленных испытаний ТЭД ТЛ-2К1. Пользуясь данной методикой, можно настроить коммутацию этих ТЭД по результатам приемосдаточных испытаний, не прибегая к специальным коммутационным испытаниям. Испытательная станция при этом может не иметь специального подпиточного устройства (генератора) [1].

Подготовка ТЭД к испытаниям кроме действий, предусмотренных специальной инструкцией по проведению испытаний, включает в себя дополнительные операции, связанные с эксплуатацией прибора контроля коммутации ПКК-2М, изложенные в инструкции по его экс-

плутации.

Испытания проводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 183-74, 2582-81 и «Правилами ремонта», показания индикаторов искрения, которые можно перевести в баллы шкалы искрения по ГОСТ 183-74 (таблица 1), фиксируются в протоколе испытаний (в журнале).

При показаниях прибора в режиме наибольшего искрения до 2400 усл. ед. двигатель допускается в эксплуатацию по состоянию коммутации. Степень искрения фиксируется в протоколе испытаний и отмечается на корпусе двигателя для определения в последующем его месторасположения в экипажной части локомотива.

При показаниях прибора более 2400 усл. ед. двигатель бракуется по условиям коммутации. С целью определения характера причин неудовлетворительной коммутации проводятся упрощенные коммутационные испытания: задается режим часового тока 480 А и максимального ослабления возбуждения ОВ4; показания прибора заносятся в таблицу 2.

Таблица 1 – Соответствие показаний прибора ПКК-2М шкале ГОСТ 183-74 (тяговый электродвигатель ТЛ-2К1)

Показания индикатора, усл. ед.	Баллы по ГОСТ 183-74
0-150	1,00
150-600 (540)	1,25
600-2400 (1830)	1,50
более 2400	2,00

Таблица 2 – Результаты коммутационных испытаний тягового электродвигателя ТЛ-2К1 (остов №____, якорь №____)

Направление вращения	Напряжение двигателя	Ток якоря	Степень возбуждения	Частота вращения	Искрение
Правое	1500	480	ОВ4		
Левое	1500	480	ОВ4		

Возможны три основных варианта результатов коммутационных испытаний:

– одновременно работают оба индикатора, причем показания их соизмеримы, это свидетельствует о неудовлетворительном механическом состоянии коллектора, о наличии факторов механического характера;

– коммутация при одном направлении вращения ускоренная (перекоммутация), при другом – замедленная (недокоммутация), частота вращения изменяется при реверсировании. Причиной расстройства коммутации в этом случае является смещение щеток с нейтрали в сторону вращения, при котором наблюдается замедленная коммутация и пониженная частота вращения;

– коммутация ускоренная или замедленная при том и другом направлении вращения, причем показания одного из индикаторов на несколько порядков больше другого (практически работает только один индикатор), частота вращения при реверсировании не изменяется. Причиной искрения в этом случае являются факторы электромагнитного характера и прежде всего отклонения в геометрии магнитной цепи ДП, завышенный (или заниженный) второй диамагнитный зазор между сердечником ДП и остовом тягового электродвигателя.

Если в режиме максимального ОВ4 искрение значительно превышает 2400 усл. ед. (более 1,50 и близок к 2,00 баллам по ГОСТ 183-74), а также возможности прибора ПКК-2М, допускается проводить коммутационные испытания ТЭД ТЛ-2К1 на предшествующей ступени ослабления возбуждения главных полюсов – ОВ3, при часовом токе якоря I_a , равном 480 А, и при U_k , равном 1500 В.

В зависимости от возможного характера причин расстройства коммутации при возвращении двигателя в цех передаются и рекомендации по настройке коммутации.

В случае превалирования факторов электромагнитного характера даются рекомендации по установке величины второго диамагнитного зазора в цепи ДП [1].

Рекомендуемый зазор можно определить на основе графоаналитического метода по рисунку 1 и 2, применив выражения:

– при недокоммутации

$$\delta'_2 = K_{нк} \cdot \delta_2;$$

– при перекоммутации

$$\delta'_2 = K_{пк} \cdot \delta_2,$$

где δ'_2 – рекомендуемая величина зазора, мм;

δ_2 – существующий зазор, мм;

$K_{нк}$, $K_{пк}$ – коэффициенты, соответственно, недо- или перекоммутации, зависящие от степени искрения.

Коэффициенты $K_{пк}$ или $K_{нк}$ определяются в зависимости от зафиксированного при испытаниях уровня искрения (см. таблицу 1) при перекоммутации (см. рисунок 1), при недокоммутации (см. рисунок 2).

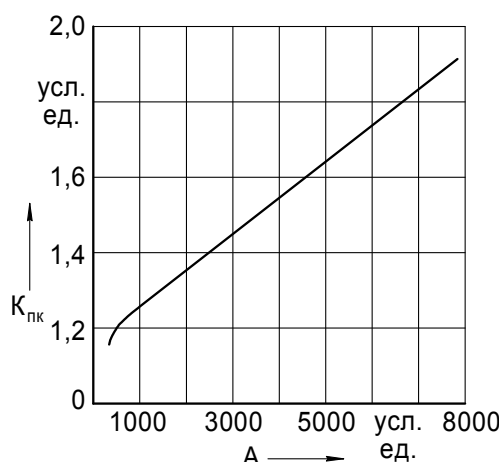


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента $K_{пк}$ от уровня искрения щеток

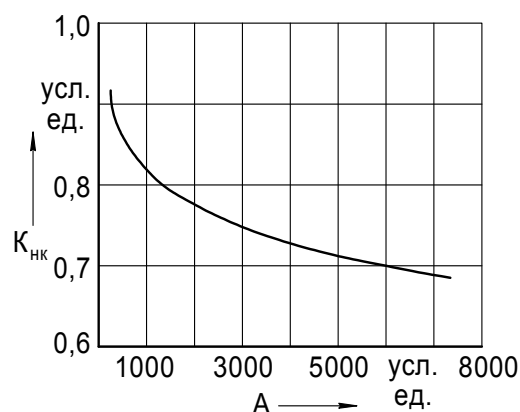


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента $K_{нк}$ от уровня искрения щеток

С достаточной для практики точностью рекомендуемую величину второго зазора можно получить непосредственно по следующим эмпирическим зависимостям:

– при недокоммутации

$$\delta'_2 = 0,25(3,4 - A_{нк} \cdot 10^{-4}) \delta_2;$$

– при перекоммутации

$$\delta'_2 = (1,17 + A_{пк} \cdot 10^{-4}) \delta_2,$$

где $A_{нк}$, $A_{пк}$ – показания индикаторов недо- или перекоммутации прибора ПКК-2М при испытаниях в режиме максимального ослабления возбуждения ОВ4 (допускается ОВ3) и тока якоря 480 А, а также по рисунку 3.

Приведенные расчетные выражения справедливы только для двигателей ТЛ-2К1. Для двигателей других серий необходимо проводить полные испытания с подпиткой-отпиткой ДП.

С целью более точного выставления второго диамагнитного зазора в магнитной цепи ДП рекомендуется в электромашинном цехе иметь набор ферро- и диамагнитных пластин толщиной 2,1 и 0,5 мм.

В качестве иллюстрации ниже приводятся результаты испытаний ТЭД ТЛ-2К1 (№139/830 – ранее недокоммутированного (сплошная линия), поступившего в электромашинный цех депо Московка на внеплановый ремонт после многочисленных круговых огней по коллектору, представленные на рисунке 4.

Следует обратить внимание и на характер нижней части U-образных кривых. До переборки магнитной системы минимум искрения отмечался практически в одной точке. После переборки магнитной цепи ДП появилась своеобразная площадка шириной в 10-20 А, что свидетельствует о наличии определенной коммутационной устойчивости, своеобразном запасе

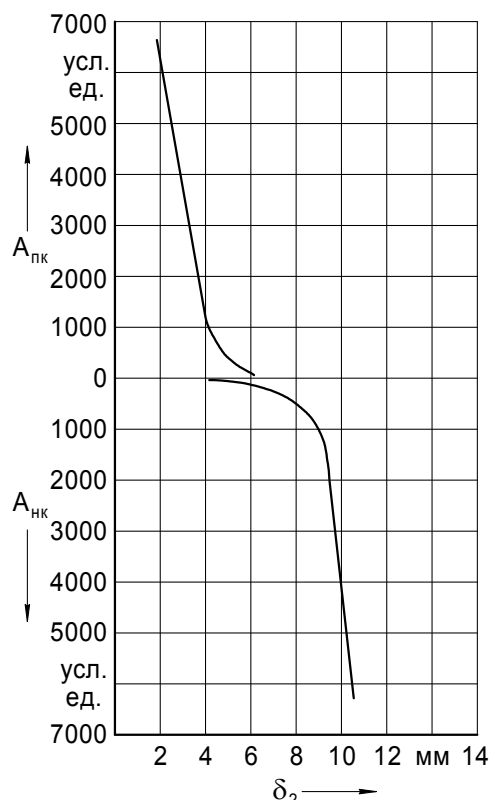


Рисунок 3 – Графоаналитический способ корректировки зазоров под ДП

надежности по коммутации. Это говорит о снижении вероятности отказа, в частности, перекрытия (кругового огня) по коллектору: при случайных возмущениях, таких как различного рода переходные процессы, вызванные изменением режима работы двигателя, скачком напряжения, постановкой ослабления возбуждения, факторы механической природы – биение, удары на стыках и т.п.

Таким образом, положение и характер U-образных кривых дают вполне достаточную информацию о состоянии коммутации испытуемой электрической машины и позволяют откорректировать величину второго диамагнитного зазора.

При анализе результатов многочисленных коммутационных испытаний двигателей ТЛ-2К1 можно отметить, что в основной своей массе U-образные кривые идентичны.

Это вполне закономерно, поскольку характер коммутации закладывается на этапе проектирования и конструктивной разработки электрической машины постоянного тока.

Однако вследствие неизбежных технологических отклонений, уменьшения диаметра коллектора, изменения магнитных свойств сердечников якоря, полюсов каждый ТЭД имеет свои особенности коммутации.

По приведенной методике-технологии в работе [1] были проведены коммутационные испытания после механической обработки (обточки, накатки) коллектора и последующей корректировки магнитной системы ДП ТЭД ТЛ-2К1, произведенной на основе метода (способа) полного цикла ее ремонта.

Испытания двигателя проводились в режиме ($I_a = I_b = 480$ А; $U = 1500$ В; полное поле ГП). После проведения механической обработки коллектора коммутационные испытания показали, что при нуле тока подпитки ($I_{np} = 0$ А) уровень искрения $A_{пк}$ составил 900 усл. ед., хотя U-образная кривая и опустилась вниз, что говорит о значительном улучшении механического состояния коллектора, но необходимость в корректировке магнитной системы очевидна, что подтверждает наличие искрения от недо- и перекоммутации.

В результате проведенных коммутационных испытаний на рисунке 4 приведена U-образная кривая обозначенная пунктирной линией, которая показывает на улучшение состояния коммутации машины после проведения корректировки магнитной системы, проведенной по методу полного цикла ремонта сердечников ДП, обеспечившему получение безыскровой зоны машины. Применение данного цикла в технологии ремонта ТР-3 даст возможность избежать возврата ТЭД с испытательных станций в ЭМЦ по условиям коммутации вновь на дополнительный их ремонт и, соответственно, сократить затраты на ремонт последних.

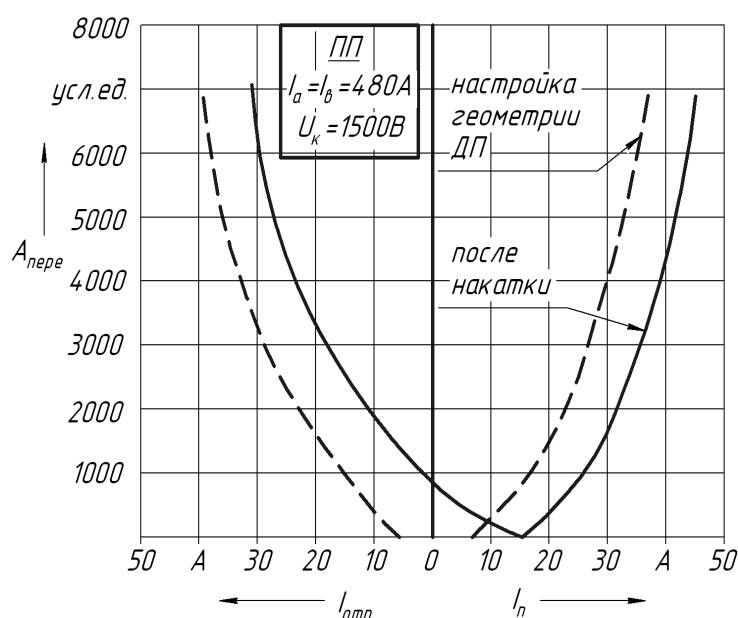


Рисунок 4 – Результаты коммутационных испытаний ТЭД ТЛ-2К1 (№139/830) после механической обработки коллектора и корректировки магнитной системы ДП

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Исмаилов, Ш.К. Повышение ресурса изоляции электрических машин подвижного состава: монография / Ш.К. Исмаилов; Ом. гос. ун-т путей сообщения. –Омск, 2007. –391 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электровоз, тяговый электродвигатель, коммутационные испытания, диамагнитный зазор, ресурс

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Селиванов Евгений Иванович, директор ТИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ОмГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 652401, Кемеровская область, г. Тайга, ул. Молодежная, 13, ТИЖТ, филиал ГОУ ВПО «ОмГУПС»

СУДОВАЯ ОПРЕСНИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА С ВЫРАБОТКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет
им. адм. Г.И. Невельского»

А.В. Семенюк, В.В. Княжев, С.А. Гармаш

SHIP WATER-DESALINATING INSTALLATION WITH ELECTRIC POWER DEVELOPMENT

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

A.V. Semenyuk, V.V. Knyazhev, S.A. Garmash

The use of reverse electrodialysis (RED) for electric power generation in water-desalinating installation at the expense of a difference of chemical potentials of the concentrated and diluted solutions which are the sea and freshened water is considered.

Keywords: water-desalinating installation, reverse electrodialysis, sea water, the brine, the freshened water, salinity, membrane

Рассматривается использование обратного электродиализа для получения электроэнергии в опреснительной установке за счет разности химических потенциалов концентрированного и разбавленного растворов, которыми являются морская и опресненная вода.

В настоящее время существует общественная потребность в создании энергосберегающих технологий. Ряд известных технологических процессов, в том числе производство дистиллята и других продуктов опреснения из морской воды в промышленности и на морском транспорте, не отвечают в достаточной степени данному требованию. Поэтому совершенствование, в частности, судовых энергетических установок должно включать решение комплекса задач, отвечающих требованиям высокой экономичности, экологической чистоты и комфортности для экипажа и пассажиров судна.

К таким задачам относится снижение эксплуатационной мощности и улучшение экологичности судовой электростанции, работающей на органическом топливе, за счет использования альтернативных источников энергии для привода различного рода вспомогательных механизмов. В результате у таких электростанций могут быть снижены расход топлива и выбросы токсичных газов.

Особенно актуально подобное решение в системах глубокой утилизации теплоты главных двигателей теплоходов и тепловых схемах судовых паротурбинных агрегатов, в которых применяются опреснительные установки (ОУ) с испарителями поверхностного типа с целью получения питьевой, мытьевой или питательной (для котельных агрегатов или систем охлаждения дизельных двигателей) воды. Значительные потоки воды различных концентраций в системах ОУ дают возможность применить методы прямого преобразования энергии градиентов солености в электричество.

Идея непосредственного получения электричества посредством обратного электродиализа нашла отражение в работе [1]. Она заключается в том, что при движении двух растворов различных концентраций по каналам, разделенным ионоселективными мембранами, возникает направленное движение ионов из концентрированного раствора в слабый раствор, образующее на крайних электродах пакета мембран электрические потенциалы противоположных знаков (рисунок 1).

Фундаментальные исследования работы реверс-электродиализных (РЭД) установок провел Лэйси [2]. Он доказал, что для достижения экономической эффективности таких аппаратов внутреннее сопротивление ячеек должно быть минимизировано, а удельная мощность нетто может быть максимально повышена благодаря малому расстоянию между мембранами ячеек с пресной водой, уменьшению толщины диффузионного пограничного слоя, выбору высокоселективных низкоомных мембран и совершенствованию технологии их производства.

Он также проанализировал уравнения, предложенные различными исследователями для определения параметров электродиализных агрегатов. Основные формулы касаются вольт-амперных характеристик и сопротивления элемента, который является базовой повторяющейся частью батареи. Элемент состоит из анионообменной мембраны, катионообменной мембраны, камеры с концентрированным раствором и камеры с разбавленным раствором. Лэйси вывел собственное выражение для вычисления выходного напряжения элемента (ячейки) батареи. Затем он произвел расчеты зависимостей производимой мощности от различных конструктивных и режимных факторов. Он нашел, что наилучшие результаты могут быть получены при экстремально близких расстояниях между мембранами равных

0,1 мм. Например, было установлено, что пиковая эффективная мощность на единицу суммарной площади мембран может достигать $10,0 \text{ Вт/м}^2$ (1,45М концентрированный раствор хлористого натрия; толщина рассольного отсека – 1 мм; толщина пресноводного отсека – 0,1 мм; скорость рассола 0,5 м/с; скорость разбавленного раствора 10 см/с). Однако экспериментального подтверждения он не приводит.

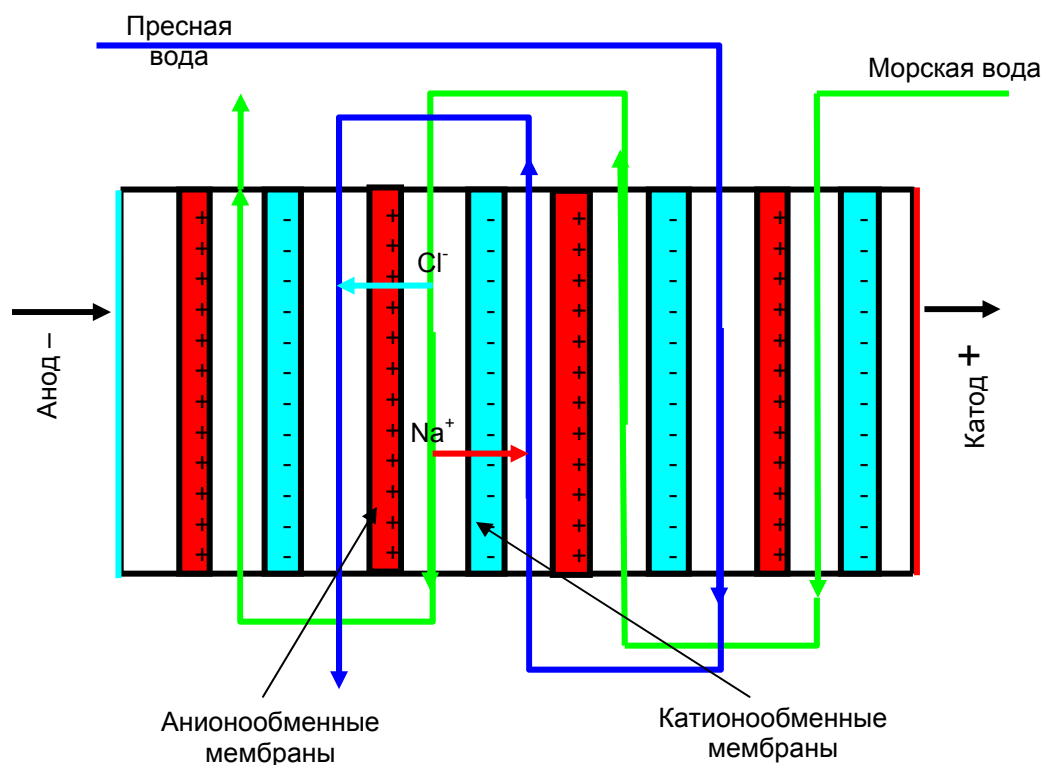


Рисунок 1 – Принципиальная схема обратного электродиализа (РЭД-аппарата)

Авторы [3] провели эксперименты в лабораторных условиях при расстоянии между мембранами 0,19 мм и получили мощность $0,5 \text{ Вт/м}^2$. В качестве концентрированного электролита (рассола) использовался раствор NaCl содержанием 35,4 г/л, а для моделирования пресной воды применялся тот же раствор более низкой солёности: 0,56; 1,05 и 2,05 г/л.

В работе [4] приведены опытные данные по исследованию эффекта обратного электродиализа, впервые полученные на экспериментальном стенде, в котором циркулировали естественные жидкости: морская вода и пресная вода из артезианской скважины. Полученные результаты подтверждают возможность использования РЭД установок в реальных условиях.

Как известно современные судовые опреснительные установки включают в свой состав определенное количество вспомогательных механизмов с достаточно высокими энергозатратами. В число обслуживающих опреснитель насосов входят циркуляционный, рассольный, дистиллятный, насосы охлаждающей воды конденсатора и эжектора. Удельный расход электроэнергии на вспомогательные механизмы по некоторым данным достаточно высок и равен 1,4-24 кВт·ч на тонну полученного дистиллята, в зависимости от тепловой схемы испарительной установки [5]. Обеспечение привода насосов достигается тем, что в известную испарительную установку, дополнительно введено устройство для выработки электроэнергии. Авторами разработаны схемы для одноступенчатых и для двухступенчатых опреснительных установок, одна из которых показана на рисунке 2.

Экономия электроэнергии, потребляемой опреснительной установкой от судовой электростанции, вплоть до полной компенсации энергозатрат на собственные нужды, сопровождается снижением количества выбросов токсичных и парниковых газов судовой энергетической установки.

В известной системе утилизации теплоты охлаждающей воды и выхлопных газов судовых ДВС получают из морской воды пресную воду, а остаточный продукт в виде концентрированного рассола, а также охлаждающую забортную воду сбрасывают в море. Однако после использования в теплообменных аппаратах забортная вода или рассол, обладающие

значительным электрохимическим потенциалом относительно опресненной воды, могут выделять дополнительную энергию. Утилизацию этой энергии градиентов солености (ЭГС), производят с помощью пакета ионоселективных мембран в процессе обратного электролиза, которыми и предлагается оснастить опреснительную установку.

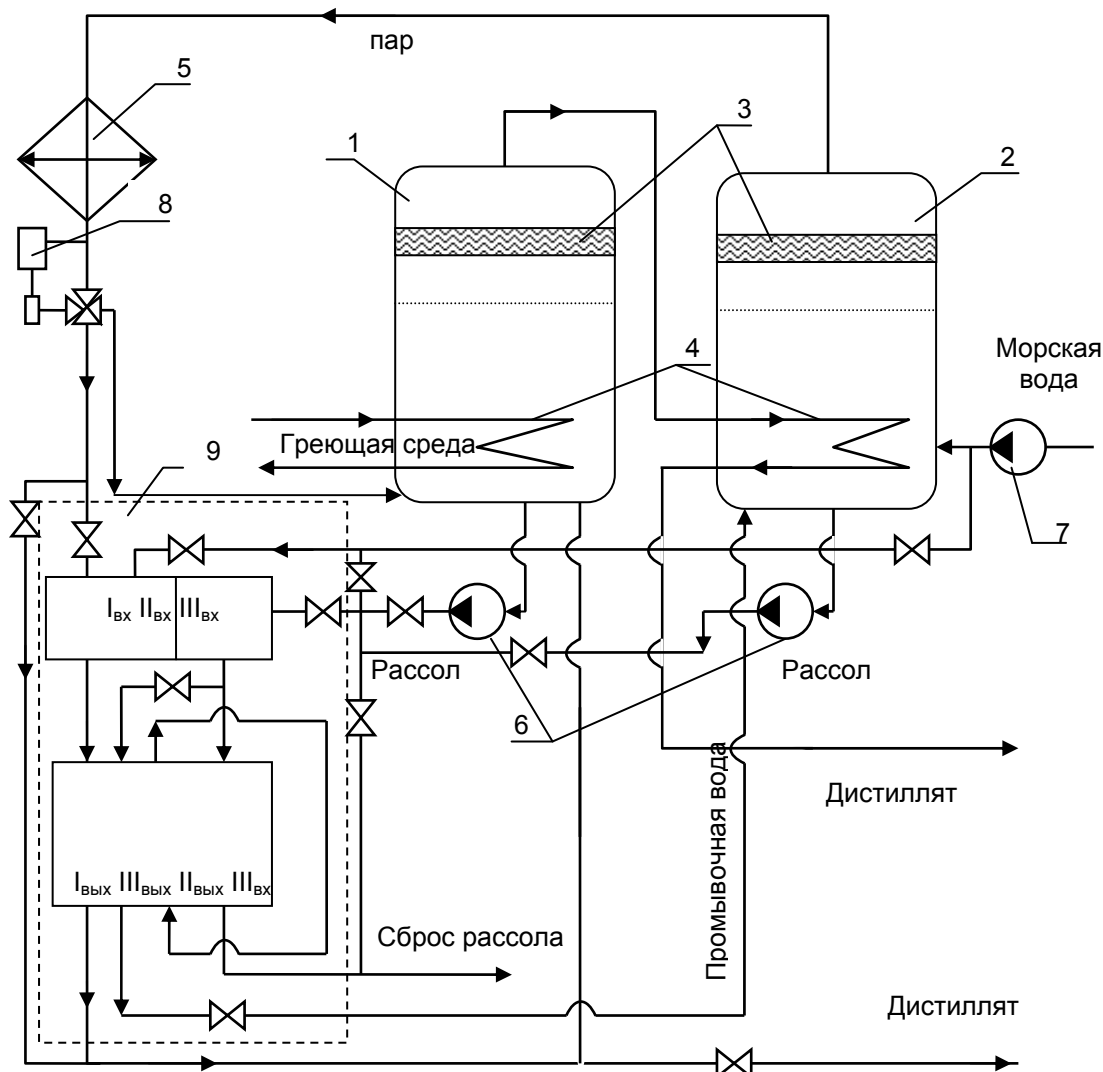


Рисунок 2 – Принципиальная схема опреснительной установки с выработкой электроэнергии: 1,2- первая и вторая ступени испарителя; 3-влагоуловители; 4-подогреватели; 5-конденсатор; 6,7-насосы; 8-солемер; 9-устройство для выработки электроэнергии

В результате утилизации ЭГС в устройстве для выработки электроэнергии генерируется электрический ток, мощность которого достаточна для работы вспомогательных механизмов, обслуживающих опреснитель, а при соответствующем увеличении площади мембран и для другого вспомогательного оборудования конкретной судовой энергетической установки.

Указанный эффект реализации энергии ЭГС может быть использован для обеспечения более гибкой утилизации теплоты судовой энергетической установки (СЭУ) при работе на переменных режимах. Например, при отсутствии достаточного потребления тепловой нагрузки на судне, излишнее тепло может направляться в опреснительную установку. Дополнительно полученная пресная вода позволит увеличить гидродинамическую нагрузку на устройство для выработки электроэнергии, мощность которого увеличится.

Теоретические исследования показали, что мощность, получаемая от устройства для выработки электроэнергии в опреснительной установке существенно увеличивается с ростом скорости движения растворов в элементах и уменьшением сопротивления мембран.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Weinstein, J.N. Electric Power from Differences in Salinity / J.N. Weinstein, F.B. Leitz. // The

Dialytic Battery Science. -1976. -Vol. 191. -P. 557-559.

2 Lacey, R.E. Energy by reverse electrodialysis / R.E. Lacey // Ocean Eng. -1980. -№7. -P. 1-47.

3 Turek, M. Renewable energy by reverse elektrodialysis / M. Turek, B. Bandura // Desalination. -2007. -Vol. 205. -P. 67-74.

4 Семенюк, А.В. Экспериментальные исследования энергетической установки на основе обратного электролиза / А.В. Семенюк, В.В. Княжев // Проблемы транспорта Дальнего Востока: материалы 8-й междунар. науч.-практ. конф. / -Владивосток: МГУ, 2009. -С. 113-115.

5 Слесаренко, В.Н. Судовые опреснительные установки / В.Н. Слесаренко, В.В. Слесаренко. -Владивосток: МГУ, 2001. -448 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: опреснительная установка, обратный электролиз, морская вода, рассол, опресненная вода, соленость, мембрана

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Семенюк Анатолий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
Княжев Валерий Викторович, аспирант ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
Гармаш Сергей Александрович, аспирант ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

ФГОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»

В.А. Васильев, А.Н. Сычугов

MEASUREMENT OF PARAMETERS OF POWER CHAINS OF THE ELECTROROLLING STOCK

«Petersburg state transport university»

V.A. Vasilev, A.N. Sychugov

The developed hardware-software complex for measurements in power chains of an electric rolling stock with use of sensing transducers of compensatory type is presented.

Keywords: the current gauge, hardware-software complex

Представлен разработанный программно-аппаратный комплекс для измерений в силовых цепях электрического подвижного состава с использованием датчиков компенсационного типа.

Одно из важнейших условий при исследовании силовых цепей ЭПС - наличие диагностической аппаратуры отвечающей современным требованиям безопасности. При этом обязательным условием является гальваническая развязка силовых и измерительных цепей.

В настоящее время предпочтение отдается выпускаемым датчикам для измерения токов и напряжений, которые используют технологию бесконтактного измерения, принцип действия которой основан на эффекте Холла [3].

В датчиках прямого усиления магнитный поток и напряжение Холла создаются измеряемым первичным током I_p , который в дальнейшем преобразовывается в выходной ток датчика I_c . В пределах линейной области цикла гистерезиса магнитная индукция пропорциональна первичному току, следовательно и напряжение Холла U_H прямо пропорционально измеряемому току и определяется по формуле

$$U_H = I_p \cdot b,$$

где b — константа, учитывающая параметры датчика.

Измеряемый сигнал U_H усиливается, и с выхода датчика используется для дальнейшей обработки. На рисунке 1 приведена упрощенная схема датчика тока прямого усиления.

Датчики компенсационного типа (рисунок 2) обеспечивают выходной ток I_s пропорциональный напряжению Холла U_H , который действует как сигнал обратной связи, чтобы компенсировать магнитное поле, создаваемое первичным током, магнитным полем создаваемым выходным током I_s . Выходной ток намного меньше чем I_p , так как катушка с витками предназначена для генерирования аналогичного магнитного потока, в результате создается

поле с величиной индукции B_s , которая компенсирует поле с величиной индукции B_p . Следовательно индукция B_s эквивалентна B_p и их соответствующие ампер-витки компенсируют друг друга. Таким образом система действует при нулевом магнитном потоке в сердечнике. Выходной ток I_s определяется по формуле

$$I_s = \frac{(N_p \cdot I_p)}{N_s},$$

где N_p, N_s – количество витков первичной и выходной обмотки соответственно.

При использовании датчиков в полевых условиях, наличие двухполярного питания создают трудности в их использовании. И хотя производитель предлагает схему однополярного питания, её использование увеличивает число элементов, подключаемых к датчику. Ряд других производителей предлагают датчики, где используется однополярное питание, а сигнал на выходе датчика ограничивается напряжением источника питания, и имеет линейную зависимость по отношению к измеряемой величине.

Для визуального отображения и регистрации измеряемых сигналов от датчиков тока и напряжения возможно использование измерительного модуля фирмы National Instruments (NI). На рисунке 3 представлена схема измерительного комплекса с использованием датчика тока и напряжения компенсационного типа.

Измерительные датчики питаются от портативных источников питания (аккумуляторов) GB1 и GB2, а измеряемый сигнал поступает на вход измерительного модуля с нагрузочного резистора R_n . Корпус модуля соединяется с общей точкой аккумуляторов, а сам модуль получает питание от персонального компьютера.

Программно-аппаратный комплекс был применен при исследовании работы электродвигателя от емкостного накопителя энергии (рисунок 4) [1, 2]. Испытания проводились с целью получения экспериментальных данных для аналитического исследования достоверности математической модели. Ток и напряжение измерялись и регистрировались в реальном времени с помощью следующих датчиков: ДН-напряжение емкостного накопителя; ДТ1-ток разряда накопителя; ДТ2-ток в цепи электродвигателя. Нагрузка включена в коллекторную цепь транзистора VT и регулирование тока нагрузки производилось с помощью системы управления СУ.

Сбор, обработка и передача измеренной информации при испытаниях осуществлялась программой SignalExpress фирмы NI с помощью которой настраивалась работа измерительного модуля и выполнялась регистрация сигналов с измерительных датчиков. В результате выполненных испытаний получены зависимости тока нагрузки, тока разряда накопителя и напряжение накопителя от времени при коэффициенте заполнения 0,5 и частоте 250 Гц (рисунок 5), которые в дальнейшем использовались для разработки алгоритма управления широтно-импульсным преобразователем.

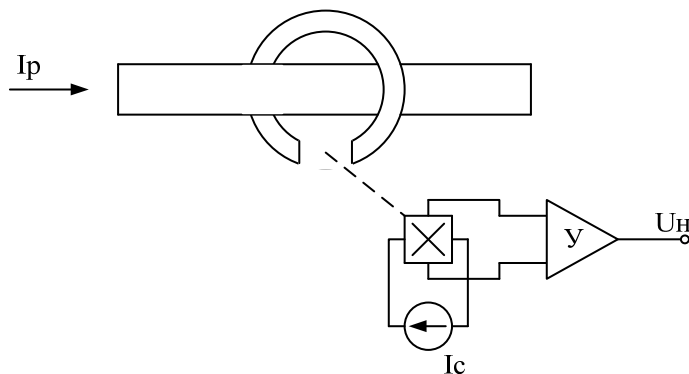


Рисунок 1 – Упрощенная схема датчика тока прямого усиления

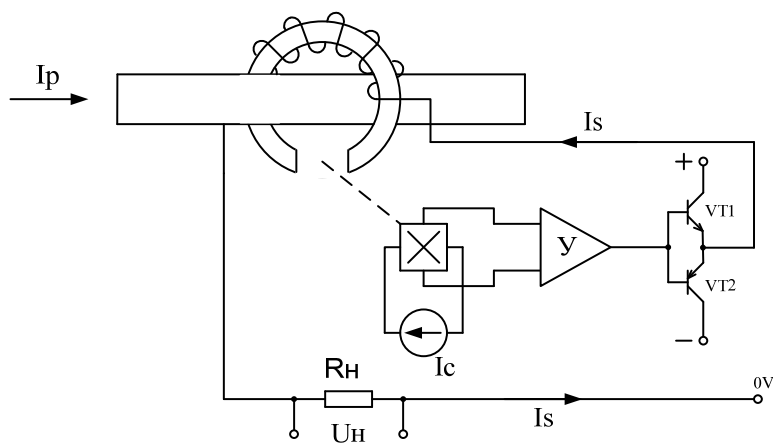


Рисунок 2 – Упрощенная схема датчика тока компенсационного типа

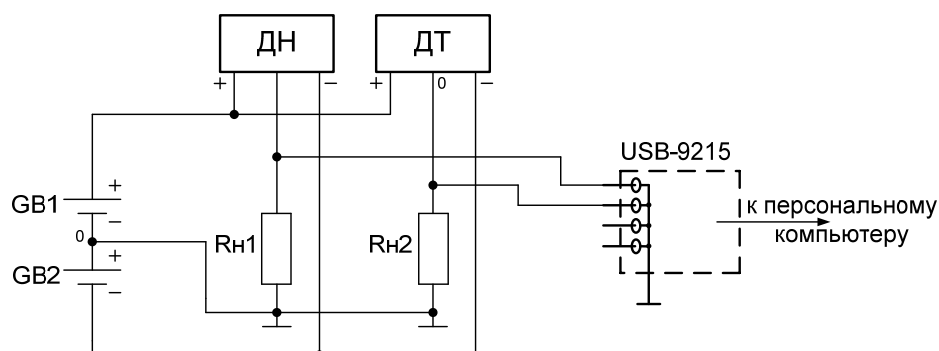


Рисунок 3 – Схема программно-аппаратного комплекса с использованием датчиков компенсационного типа

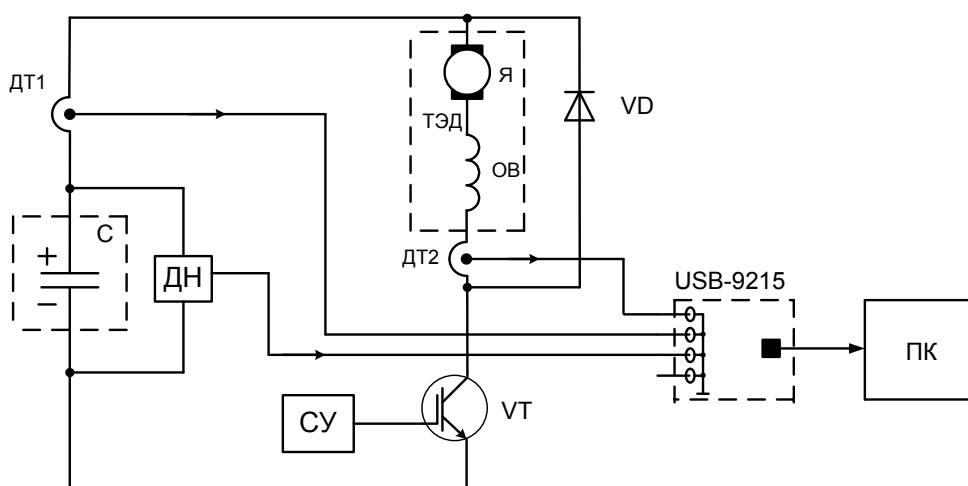


Рисунок 4 – Схема исследования работы электродвигателя от емкостного накопителя энергии

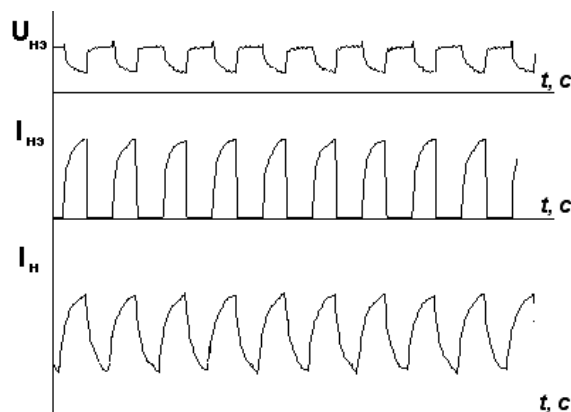


Рисунок 5 – Результаты испытаний работы электродвигателя от емкостного накопителя энергии

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мазнев, А.С. Применение энергонакопительных устройств на электроподвижном составе / А.С. Мазнев, А.М. Евстафьев // Трансп. Урала. -2009. -№2(21). -С. 83-85.
- 2 Евстафьев, А.М. Об использовании суперконденсаторов / А.М. Евстафьев // Ж.-д. трансп. -2010. -№2. -С. 31-32.
- 3 Маркелов, М.В. Датчики тока компании Honeywell / М.В. Маркелов // Электрон. компоненты. -2007. -№ 3. -С. 121-126.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: датчик тока, программно-аппаратный комплекс

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Васильев Виталий Алексеевич, аспирант ГОУ ВПО «ПГУПС»

Сычугов Антон Николаевич, аспирант ГОУ ВПО «ПГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 190031, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 9, ГОУ ВПО «ПГУПС»

НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ, КАК ЭЛЕМЕНТ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

С.М. Кузнецов, А.В. Гашкова, И.С. Демиденко

NEW TECHNICAL REQUIREMENTS TO THE EQUIPMENT OF TRACTION SUBSTATIONS, AS THE ELEMENT OF INNOVATIVE DEVELOPMENT SYSTEMS OF THE ELECTRICAL SUPPLY OF ELECTRIC TRANSPORT

«Novosibirsk state technical university»

S.M. Kuznetsov, A.V. Gashkova, I.S. Demidenko

In this article innovative principles of building new and reconstruction existing traction substation are presented, and also new technical requirements to the equipment of traction substations.

Keywords: traction substation, technical requirements, design rules, remote control

Изложены инновационные принципы строительства новых и реконструкции существующих тяговых подстанций, а также новые технические требования к оборудованию тяговых подстанций.

Как известно [1], развал мощной научной, проектной, производственной, монтажной и наладочной базы Минтрансстроя, Минэлектротехпрома и других ведомств произошел еще в 90-е годы прошлого века, и конечно, собрать вновь тот мощный комплексный потенциал электротехников уже не реально. В настоящее время на рынке в России многие иностранные и новые молодые Российские производители предлагают широкий выбор электротехнического оборудования для тяговых подстанций и слабые проектные организации часто затрудняются в принятии наиболее эффективного решения. В статье излагаются инновационные принципы строительства новых и реконструкции существующих тяговых подстанций путём объединения под одним Генеральным подрядчиком всего комплекса работ по проектированию, покупке или изготовлению отдельных компонентов оборудования, автоматизации управления им, защиты и диагностики, а также выполнения монтажа, испытаний и ввода в эксплуатацию с гарантией договорного срока без аварийной эксплуатации [2]. Предлагаемые инновационные принципы могут быть использованы Заказчиком в технических требованиях к конкурсной документации (тендеру).

Общие технические условия и требования. Все типы тяговых подстанций (ТП) электрического транспорта должны проектироваться по единым Базовым параметрам, которые состоят в следующем:

- безопасность системы энергоснабжения является важнейшей задачей для предотвращения травм людей и повреждения оборудования;
- надёжность работы оборудования должна гарантировать безопасное и эффективное управление системой энергоснабжения;
- оборудование ТП должно разрабатываться с учётом самых современных технологий, доказавших свою надёжность и безопасность эксплуатации. Оборудование должно быть рассчитано на непрерывную работу в течение 24 ч в сутки 365 дней в году в течение гарантийного срока например, не менее 2 лет;
- ответственность за проектирование, поставку и монтаж всего оборудования и компонентов для ТП от разных поставщиков возлагается на Генерального Подрядчика.

Стандарты и нормы для проектирования и работ. Оборудование ТП, включая систему управления, защиты и оборудование собственных нужд, должно соответствовать международным нормам и стандартам, в качестве примера отдельные из них приведены в таблице 1.

Стандарты Международной организации по стандартизации ISO (International Standardisation Organisation) также рекомендуются к применению.

Российские СНИП и стандарты являются также обязательными [3].

Стандарты ГОСТ и российские стандарты РСТ и СНИП также применимы, в том случае, если они не противоречат международным стандартам (таблица 1 и 2). Генподрядчик обязан продемонстрировать, что применяемые стандарты как минимум эквивалентны заявленным международным стандартам.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Таблица 1 – Европейские нормы и стандарты

Обозначение	Название
Общие стандарты	
EN 50162:2004	Защита от коррозии из-за токов потерь систем постоянного тока
EN 60298	Комплектное устройство переменного тока и аппаратура управления для номинального напряжения свыше 1 кВ до 52 кВ включительно
EN 60694	Общие технические характеристики распределительных устройств высокого напряжения и стандарты аппаратуры управления
Рельсовый электрический транспорт	
EN 50122-2:1999	Железнодорожный транспорт. Стационарное оборудование. Защитные мероприятия против воздействия токов утечки, возникающих при работе тяговых систем постоянного напряжения
EN 50123	Железнодорожный транспорт. Стационарное оборудование. Коммутационные системы постоянного тока
EN 50124-2:2001	Координация изоляции на железных дорогах. Часть 2. Перенапряжения и соответствующие меры защиты

Таблица 2 – Стандарты IEC

Обозначение	Название
IEC 60076	Трансформаторы
IEC 60044-1	Трансформаторы измерительные – часть 1: Трансформаторы тока
IEC 60044-2	Трансформаторы измерительные – часть 2: Индуктивные трансформаторы напряжения
IEC 62271-100	Высоковольтное комплектное распределительное устройство. Часть 1. Высоковольтные автоматические выключатели переменного тока
IEC 60146-2:1999	Полупроводниковые конвертеры – Часть 2: Самокоммутирующиеся полупроводниковые преобразователи, включая прямые преобразователи переменного тока

В случае противоречий между стандартами, Заказчик или его представитель принимает решение о том, какой из стандартов следует применять, имея в виду параметры и показатели надёжности. Например, MTBF (средняя наработка на отказ) должна превышать 10 000 ч и MTTR (среднее время восстановления) должно быть ниже 4 ч.

Оборудование управления и контроля, а также оборудование дистанционного управления должны иметь источник бесперебойного питания (ИБП) с ёмкостью аккумулятора, достаточной для обеспечения полноценной работы оборудования в течение двух часов, включая электроснабжение оборудования связи.

Защита от импульсных помех и электромагнитных излучений. Тяговое электрооборудование и системы управления должны быть надёжно защищены от ущерба в результате внешнего электромагнитного излучения, включая импульсные помехи. Импульсные помехи могут быть вызваны ударами молнии или включением коммутирующих аппаратов других потребителей.

Целесообразно рассмотреть энергосбережение путём применения современной системы отопления, освещения, водоснабжения и стоков.

Кроме того, обязательно устанавливать защиты от несанкционированного доступа (надстройка окон, установка дверей с улучшенной защитой от взлома, видеонаблюдение и пр.)

Проектирование и планирование работ. В пояснительной записке должен подробно описать порядок разработки (приобретения) оборудования, с учётом всех требований, лежащих в основе технических требований Заказчика. Предпроектирование должно обеспечить принципиальные решения для всех устройств ТП и для потенциальных проблем, которые могут проявиться в ходе завершения её детального проектирования. Проект должен охватывать оборудование, программное обеспечение, каналы связи, интерфейсы, протоколы и оперативные аспекты. В пояснительной записке должны быть включены указания по выполнению возможных будущих корректировок и изменений в программном обеспечении и по адаптации новых стратегий управления.

При разработке проекта Генеральный подрядчик должен удостовериться, что поставляемое оборудование ТП оптимально спроектировано (проектирование может быть поруче-

но субподрядчику) для достижения максимальной выгоды по проекту.

В случае реконструкции Подрядчик должен разработать детальный рабочий план восстановления ТП и представить его на утверждение Заказчику. План восстановления должен включать раздел «Технология проведения демонтажных и монтажных работ», направленный на обеспечение безопасности работников, сохранности демонтируемого оборудования для дальнейшего использования и исключающий возможные ошибки, связанные с проведением работ в существующих условиях на действующей ТП.

Центр дистанционного управления. Управление существующими и проектируемыми на будущее тяговыми подстанциями должно осуществляться дистанционно. Передача сигнала в системе дистанционного управления должна осуществляться по беспроводной связи. Должны использоваться стандартные протоколы и интерфейсы. Наиболее пригодна для этих целей система SKADA, адаптированная в чаще всего в виде трёхуровневой системы.

Производство и поставка тягового оборудования. Для достижения максимальных качественных показателей проекта и производства оборудование ТП целесообразно сгруппировать в функциональные модули рисунок технические требования, к которым сводятся к надёжному выполнению только им присущего комплекса функций (распределение энергии, преобразователь, дистанционное управление – оборудование для удалённого управления подстанцией и др.).

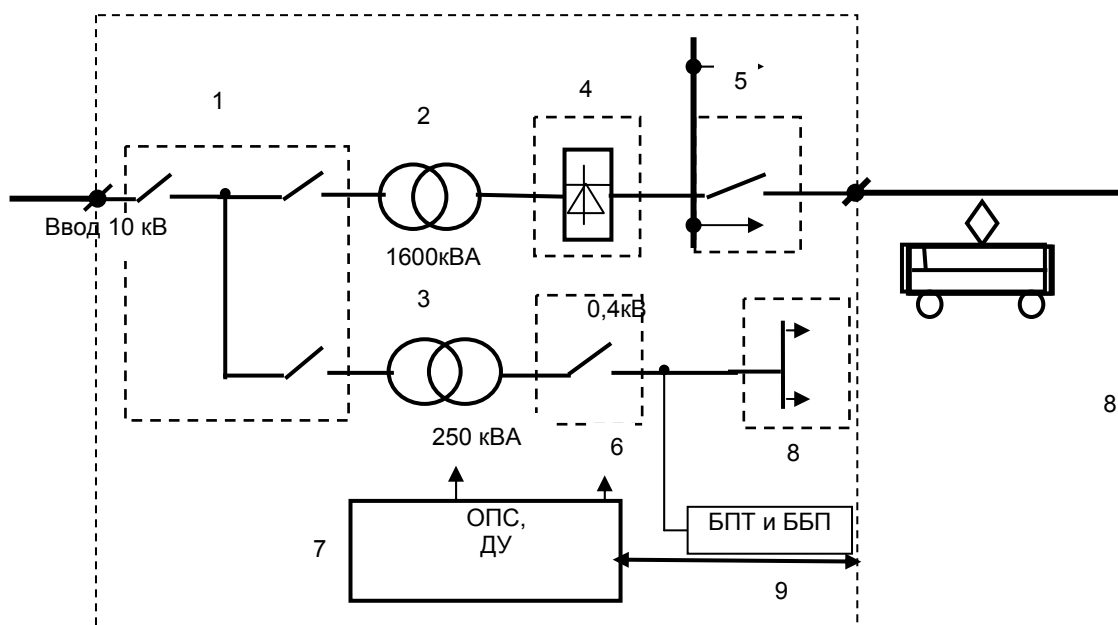


Рисунок – Структурная схема тяговой подстанции с разделением оборудования на функциональные блоки: 1-ФБ РУ-10 кВ; 2-трансформатор ФБ ВА, 4-выпрямитель ФБ ВА; 5-ФБ РУ выпрямленного тока; 3,6,8,9- ФБ СН собственные нужды; 7-ФБ ОПУ

В целом новейшие технологии обеспечивают существенное сокращение сроков проектирования, окупаемости капиталовложений на создание ТП и сокращение затрат на эксплуатацию всей тяговой части системы электроснабжения электрического транспорта. Использование блочно-модульных конструкций существенно упрощает технологию строительства ТП, так как не требуется возведения зданий подстанции.

Эксплуатация созданных по этой технологии и введённых в эксплуатацию ТП подтвердила правильность принятых при их разработке решений. Получен практический опыт выполнения всех этапов создания ТП нового поколения, отработаны все элементы технологии электрификации и реконструкции участков железных дорог и городского транспорта. Сложившаяся практика построения автоматизированных систем управления достаточной сложности свидетельствует о том, что применение SCADA-систем в проектировании АСУТП значительно упрощает жизнь разработчикам и позволяет организовать надежное и качественное управление при эксплуатации систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мустейкис, Р. Проектированию необходимы молодые специалисты, вопрос как их при-

влекать? [Электронный ресурс] / Р. Мустейкис. -Режим доступа: www.stroyte-s-nami.ru.

2 Кузнецов, С.М. Инновационные технологии в электроснабжении городского электрического транспорта / С.М. Кузнецов // Материалы международной конференции «Интеллектуальная нация: наука, образование и инновации», 19 марта 2010 г. -Шимкент, 2010. -С. 395-397.

3 СНиП 2.05-09-90. Трамвайные и троллейбусные линии. -М.: Стройиздат, 1990.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тяговая подстанция, технические требования, стандарты и нормы для проектирования, дистанционное управление

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кузнецов Сергей Михайлович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

Гашкова Анфиса Валерьевна, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»

Демиденко Иван Сергеевич, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

УСТРОЙСТВА БЫСТРОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОДЪЕМНОЙ СИЛЫ ВЕТРОВОЙ ТУРБИНЫ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.З. Манусов, С.Н. Удалов, Н.В. Зубова

DEVICES FOR FAST CONTROL OF LIFT OF THE WIND TURBINE

«Novosibirsk state technical university»

V.Z. Manusov, S.N. Udalov, N.V. Zubova

Publication includes techniques for fast change of blade profile of wind turbine. A method of using these devices to increase power generated by wind power turbines is offer.

Keywords: control, microtabs, miniature trailing-edge effectors, microflaps, wind turbine

Рассмотрены устройства быстрого изменения аэродинамических характеристик лопастей ветроколеса. Предложены способы использования этих устройств для повышения вырабатываемой мощности ветроэнергетической турбины (ВЭУ).

Использование энергии ветра в настоящее время является самым быстро растущим сектором возобновляемой энергетики в мире. В этой области есть еще много нерешенных задач, представляющих интерес для проведения исследований. Одним из основных направлений является увеличение вырабатываемой мощности ВЭУ.

В наши дни большинство крупных ветротурбин (от одного до нескольких мегаватт номинальной мощности) работают в режиме переменной скорости вращения, скомбинированные с изменяемым шагом лопастей, чтобы оптимизировать выработку энергии и контролировать возникающие нагрузки в элементах ВЭУ. В зоне второй турбины имеют тенденцию работать с фиксированным углом атаки лопасти, используя переменную скорость ротора, чтобы сохранить оптимальную окружную скорость и максимизировать количество захватываемой энергии. В третьей зоне ротор работает с постоянной скоростью вращения и лопасти разворачивают, чтобы поддерживать момент внутри приемлемых границ. Управление углом атаки лопасти и скоростью ротора ведет не только к большему регулированию мощности, но также к более легкой конструкции лопастей из-за низкого спектра нагрузок и к более простой конструкции коробки передач из-за снижения максимальных моментов. Трудности появляются при турбулентности ветра, когда происходят чрезмерные нагрузки (и предельные, и усталостные), которые приводят к преждевременному износу компонентов турбины. Используя существующую технологию трудно уменьшить эти нагрузки; изменение угла атаки всей лопасти происходит слишком медленно, а ротор с переменной скоростью позволяет снизить некоторые из высоких нагрузок, но не все. Чтобы снизить чрезмерные нагрузки ведется поиск новых методов управления работой ВЭУ [1].

Сравнительно недавно, с целью увеличения вырабатываемой мощности, была предложена идея использования лопастей переменной длины [2]. Проведенные расчеты показали, что за счет изменения длины лопасти поток энергии увеличивается на 30% и такие лопасти эффективно применять при низких скоростях ветра во второй зоне (рисунок 1).

На сегодняшний день существуют устройства, позволяющие быстро изменять поток вокруг лопасти, влияя тем самым на её аэродинамические характеристики и изменяя количе-

ство мощности выдаваемой турбиной. Рассмотрим некоторые из них.

Микровыступ. Данное устройство предлагается как жизнеспособный и эффективный механизм для управления активной нагрузкой. Идея данного устройства включает в себя маленькие выступы, расположенные возле задней кромки аэродинамического профиля (рисунок 2).

Выступы выдвигаются почти перпендикулярно к аэродинамическому профилю на высоту приблизительно равную толщине пограничного слоя (1-2% хорды). Это незначительное изменение влияет на аэродинамику профиля, меняя точку разделения потока, что, в свою очередь, изменяет информацию о потоке заднего фронта и фактически изменяет изгиб лопасти [3]. Увеличение подъемной силы достигается выдвиганием выступа на нижней поверхности, а её уменьшение – выдвиганием выступа на верхней (всасывающей поверхности).

Привлекательными характеристиками этих устройств являются небольшой размер, быстроедействие, простота исполнения, небольшое количество потребляемой мощности и малое расстояние, на которое выдвигается микровыступ из тела лопасти [1].



Рисунок 3 – Схема MiTEs

достигается в нижней позиции, а уменьшение – в верхней, соответственно. Положительные характеристики этих устройств те же, что и у микровыступов. Преимущество этого типа клапанов в том, что крайнее положение обеспечивает более эффективное регулирование подъемной силы, и нет необходимости делать отверстия в конструкции лопасти, что уменьшает её видоизменение. Однако, в качестве недостатка, можно отметить обязательное наличие тупого конца лопасти, что снижает эффективность турбины, когда устройство не активно [1].

Микроклапан – данное устройство аналогично предыдущим двум, но, в отличие от них, является поворотным. Оно принимает положение задней кромки лопасти и может вращаться в обоих направлениях на 90° (рисунок 4).

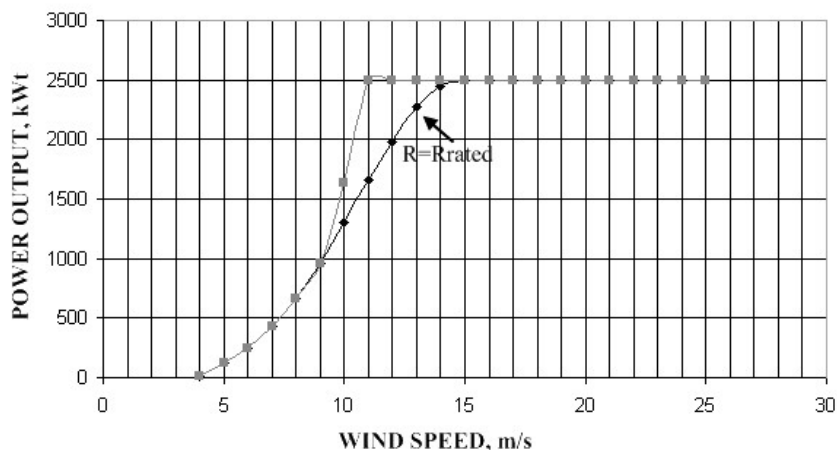


Рисунок 1 – Энергетическая характеристика ВЭУ N80/2500kW

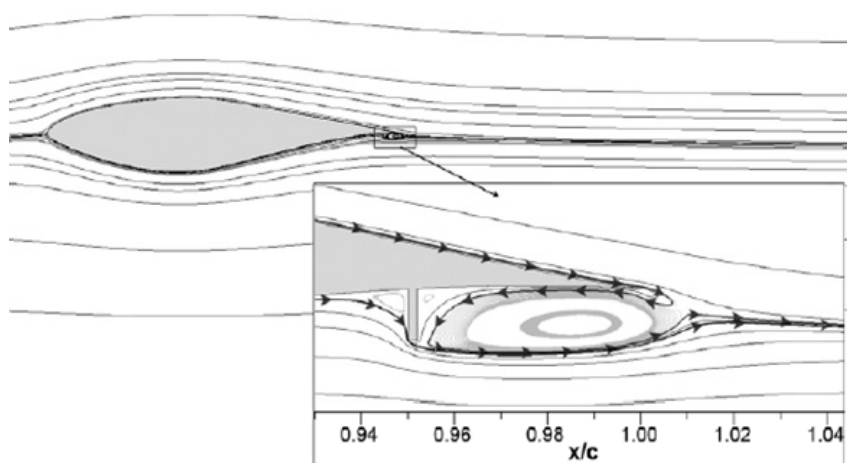


Рисунок 2 – Микровыступ

Миниатюрные эффекторы хвостового края (MiTEs) – это небольшие поступательные клапаны, достигающие в высоту примерно 1-5% хорды. Во многом эти устройства подобны микровыступам. Разница между ними заключается в расположении. MiTEs располагаются вдоль задней кромки лопасти, поэтому ее затупленная часть должна иметь толщину равную высоте MiTEs, чтобы обеспечить его полное задвижение (рисунок 3).

Клапан имеет три возможные позиции: верхнюю, нижнюю и нейтральную. Увеличение подъемной силы

Оптимальной высотой является та же, что и для микровыступов – 1-2% хорды. Вращение клапана вверх по направлению к засасывающей поверхности снижает подъемную силу, а вращение вниз по направлению к давящей поверхности увеличивает подъемную силу. Данное устройство более привлекательно для использования, чем микровыступы, так как, располагаясь вдоль задней кромки лопасти, позволяет эффективнее увеличивать подъемную силу. Также микроклапаны имеют преимущество перед MiTEs, так как не требуется притупление задней кромки лопасти [1].

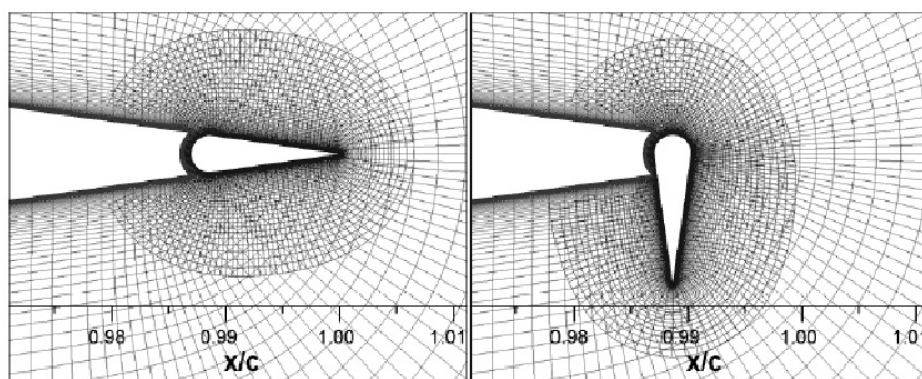


Рисунок 4 – Микроклапан

По сравнению с изменением угла атаки лопасти, рассмотренные устройства позволяют достаточно быстро регулировать подъемную силу, которая воздействует на величину момента ветровой турбины. Но регулирование будет происходить в диапазоне 1-2% от номинального значения (рисунок 5). Тогда как поворот лопасти относительно воздушного потока дает значительное изменение мощности, вырабатываемой турбиной.

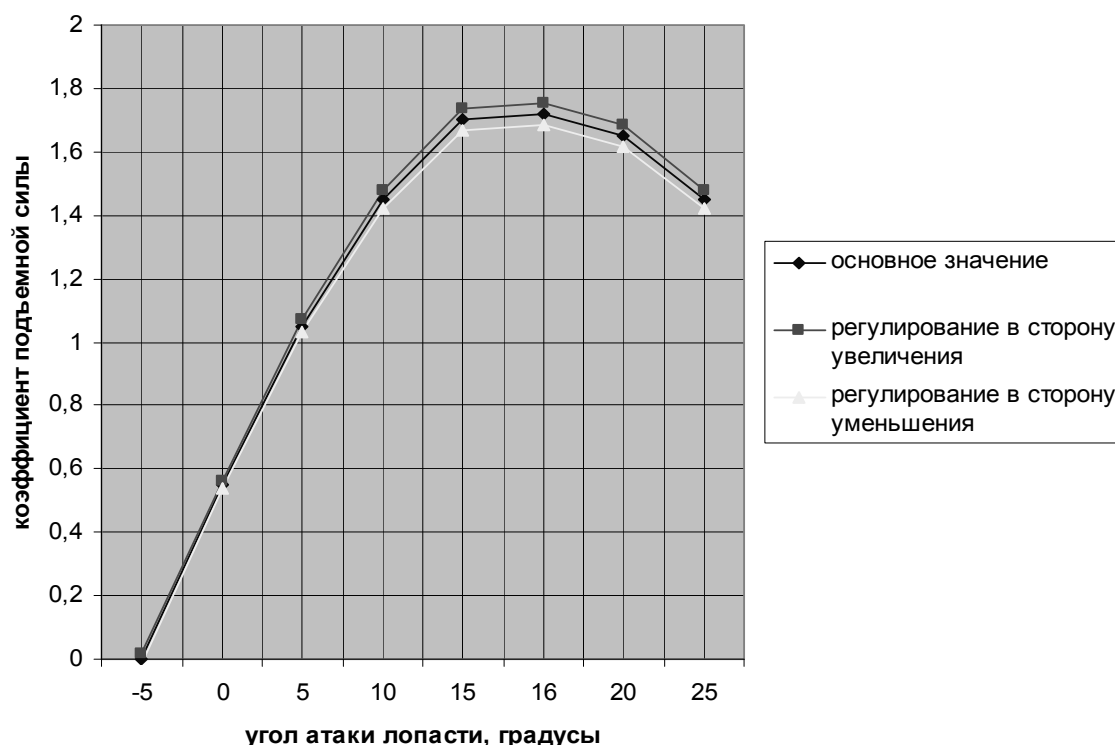


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента подъемной силы от угла атаки лопасти

Предлагается совместить эти два способа регулирования, что позволит увеличить выработку турбины в тот период времени, пока лопасти еще не развернулись. Это можно реализовать с помощью двух контроллеров нечеткого регулирования, один из которых будет регулировать угол атаки лопасти – более медленный, а второй контроллер будет давать команду на выдвижение или задвигание устройств быстрого регулирования. Для исполнения второго контроллера предлагается использовать нечеткие алгоритмы Ягера или Ларсена, которые являются наиболее быстрыми.

Устройства, представленные в данной статье, небольших размеров, легковесные и могут работать при тех скоростях ветра, которые создают нагрузку на турбины из-за турбу-

лентности. Благодаря их использованию, можно добиться повышения мощности на несколько процентов. К чему мы и стремимся, чтобы энергия, получаемая от ВЭУ, стала дешевле относительно традиционных источников энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Scott, J. «Case» van Dam and Dale E. Berg, «Active Load Control Techniques for Wind Turbines», Sandia report / J. Scott, C.P. Johnson; Sandia National Laboratories // Sandia Contract №360473, P. 1-124, 2008. -Aug.
- 2 Pasupulati, S.V. Variable Length Blades Wind Turbine [Electronic resource.] / S.V. Pasupulati, J. Wallace, M. Dawson / Energy Unlimited Inc., 2005. -Режим доступа: <http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/841190-OF8Frc/841190.PDF>.
- 3 Veers, P. Active Control Devices for Wind Turbine Blades / P. Veers // 50th IEA Topical Expert Meet., TU Delft, the Netherlands, Dec. 2006. -P. 15-24.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: регулирование, микроклапан, микровыступ, управление выработкой мощности ветровой турбины

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «НГТУ»
Удалов Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»
Зубова Наталья Владиславовна, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

РАСЧЕТ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА НА ГЛУБИНЕ ЗАЕМЛИТЕЛЕЙ

«Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова»

Н.М. Зайцева, Б.Б. Исабекова

ACCOUNT OF DAMP OF A GROUND ON DEPTH GROUNDING CONDUCTOR

«Pavlodar state university named S. Toraigyrov»

N.M. Zaitzeva, B.B. Issabekova

Two models for definition of damp on depth grounding conductor with use of fuzzy logic are developed: first gives dependence of damp on climatic conditions on depths up to 1 m, second - from a level of ground waters on depths from 1 m up to 15 m.

Keywords: grounding, ground, depth, damp, fuzzy logic, fuzzy sets, specific electrical resistance

Разработаны две модели для определения влажности на глубине заземлителей с использованием нечеткой логики: первая дает зависимость влажности от климатических условий на глубинах до 1 м, вторая – от уровня грунтовых вод на глубинах от 1 м до 15 м.

Заземляющие устройства (ЗУ) являются неотъемлемой частью электроэнергетических систем, влияющие на надежность их работы и на безопасность обслуживающего персонала [1]. При определении параметров ЗУ особо важно знать их сопротивление, которое пропорционально удельному электрическому сопротивлению ρ грунта, а ρ изменяется в широких пределах в зависимости от температуры, влажности и вида грунта. Известные формулы [2] и сезонные коэффициенты [3], рекомендуемые ПУЭ, по которым можно рассчитать ρ , дают лишь приблизительную картину его изменения от выше перечисленных параметров, что влечет за собой излишнее усложнение конструкции устройства заземления и увеличение количества металла для его изготовления. Разработанная в последнее время методика [4] позволяет более точно определять ρ в зависимости от температуры t и влажности v грунта. Но она, как и формулы [2], требует проводить трудоемкие измерения для нахождения значения v грунта.

Предлагаются две модели, построенные на основе нечеткой логики [5], не требующие трудоемких измерений, для определения влажности грунта в средних широтах: первая – на основе данных метеоцентра для глубин до 1 м, так как здесь из-за влияния климатических условий влажность грунта сильнее подвергается изменению; вторая – на глубинах от 1 м до 15 м на основе данных геологоразведочного центра, поскольку в этих слоях влажность грунта зависит от уровня грунтовых вод.

Для построения многофакторной модели, позволяющей определять влажность грунта до 1 м глубиной, использовались усредненные данные метеоцентра за 2005-2008 гг.:

– количество осадков;

- температура на поверхности грунта;
- средняя скорость ветра.

Для этого получили линейную функцию с применением метода наименьших квадратов [7], которая наилучшим образом аппроксимирует имеющиеся данные. Она выглядит так

$$v_{100} = -4,10 + 0,03 \cdot o_c - 0,007t + 1,3v_s, \quad (1)$$

где o_c – количество осадков, мм;

t – температура на поверхности грунта, °С;

v_s – средняя скорость ветра, м/с.

Для оценки полученной модели и определения процента разброса функции v относительно ее среднего значения в зависимости от o_c , t и v_s находили коэффициент детерминированности по формуле $B_{yx} = r^2$ [7], который равен 0,97 (близкий к единице). Это значит: все эмпирические значения (все точки поля корреляции) лежат на регрессионной прямой. В этом случае говорят о линейном соотношении (линейной функции), то есть нет различия между фактическими и полученными значениями v .

Для нахождения влажности в любое время года необходимо добавить нечеткое понятие [5] «влажность». В зимние месяцы влажность не изменяется, так как осадки накапливаются в виде снега и льда на поверхности земли и не проникают вглубь. В первый временной интервал моделирования входят месяцы, когда температура воздуха устойчиво держится ниже нуля градусов Цельсия (для нашей климатической зоны с ноября по февраль), во второй – март (месяц активного снеготаяния), а в третий – с апреля по октябрь. Семейство функций принадлежности представлены на рисунке 1, где $\mu_1(m)$ ($\mu_2(m)$) равняется единице (нулю) с ноября по февраль, а с апреля по октябрь – нулю (единице). Интервал переключения – март по декадне. Они в этом интервале равны

$$\mu_1(m) = \exp[-0,68(d-1)^2]; \mu_2(m) = 1 - \exp[-0,68(d-1)^2],$$

где d – порядковый номер декады в марте, $d = 1, 2, 3$.

В результате получена зависимость определения влажности v по месяцам

$$v = v_{100}^{m=10} \cdot \mu_1(m) + v_{100} \cdot \mu_2(m), \quad (2)$$

где $v_{100}^{m=10}$ – влажность, рассчитанная по (1) за октябрь месяц, так как влажность не изменяется в зимние месяцы.

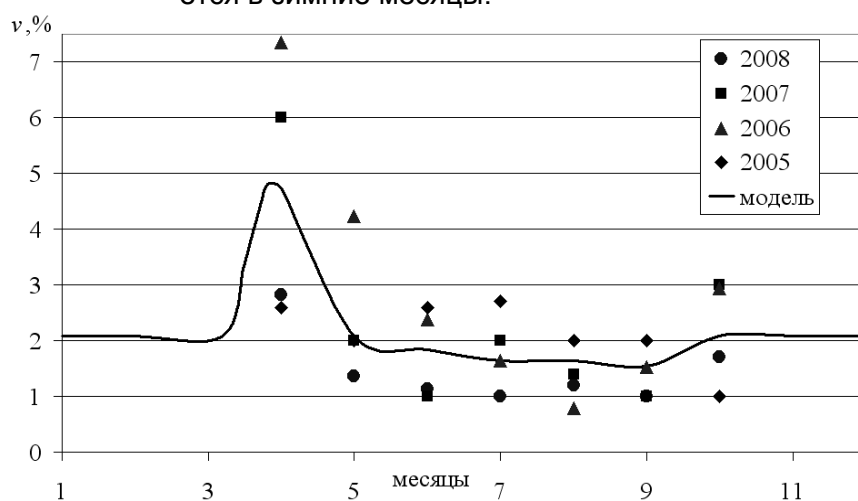


Рисунок 2 – Значения влажности по данным метеоцентра за 2005-2008 гг. и полученной модели на глубине 100 см

рисунке 2.

Модель определения влажности на глубинах от 1 м до 15 м. Влажность грунтов, распо-

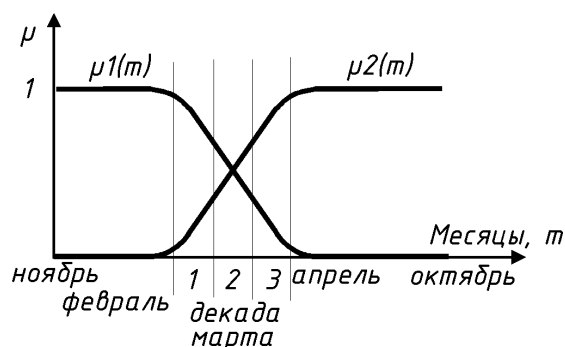


Рисунок 1 – Семейство функций принадлежности для определения влажности по месяцам

Причем, в марте месяце количество осадков рассчитывается их суммированием за месяцы с ноября по март, накопленный в виде снежного покрова за зимние месяцы.

Адекватность модели доказана по критерию $F_{эк}$ Фишера [7], (оценивается степень отклонения v , вычисленной по модели, от данных метеоцентра): $F_{эк} = 3,31$, что выше табличного значения 3,10 (для уровня значимости $\alpha = 0,05$). Модель представлена на

ложенных ниже 1 м, не подверженных замерзанию, не зависит практически от климатических условий, а меняется в зависимости от уровня грунтовых вод, и, следовательно, для построения модели необходимо учитывать их близость. Для этого используется высота капиллярного поднятия (водоподъемная способность) [6]: для песка – 50 см; для супеси – 100 см; для глины – 250 см. Причем высота и скорость подъема зависят от структуры грунта. В песчаных грунтах вода поднимается невысоко, но достаточно быстро (1-5 дней), в глинистых – медленно (5-14 дней). Для этого используем нечеткую логику [5], где за нечетким понятием примем «близость грунтовых вод». Первый интервал, характеризуемый понятием «рядом»: $0 \leq h < h_{\text{кп}}$ см, второй интервал – «далеко»: $h \geq h_{\text{кп}}$ см. Функции принадлежности имеют вид:

$$\mu'_1(h) = \begin{cases} 1, & 0 \leq h < h_{\text{кп}}; \\ 0, & h \geq h_{\text{кп}}; \end{cases} \quad \mu'_2(h) = \begin{cases} 0, & 0 \leq h < h_{\text{кп}}; \\ 1, & h \geq h_{\text{кп}}; \end{cases} \quad (3)$$

где h – расстояние от уровня грунтовых вод.

В результате влажность грунта определяется по формулам:

$$\begin{aligned} v_{\text{песок}} &= (18 - 0,27h) \mu'_1(h) + 4,5 \mu'_2(h); \\ v_{\text{супесь}} &= (23 - 0,193h) \mu'_1(h) + 3,5 \mu'_2(h); \\ v_{\text{глина}} &= (50 - 0,128h) \mu'_1(h) + 18 \mu'_2(h), \end{aligned} \quad (4)$$

здесь коэффициенты 18, 23, 50 – это максимальная влагоемкость грунтов песка, супеси и глины, соответственно; коэффициенты 4,5, 3,5 и 18 – влажность естественного залегания тех же грунтов. Для влагонасыщенного грунта, например песка процентное содержание влаги его может быть и 25%.

С помощью данной модели были произведены расчеты v для двух геологоразведочных скважин в районе Павлодарской области. На рисунке 3 представлены: экспериментальные данные, обозначенные 1-скважина 704 от 06.01.2007 г.; 2-скважина 403 от 25.05.2006 г. с тремя слоями: первый слой – супесь, второй – песок и третий – глина; полученные по модели (4) кривые 3 и 4, соответственно. Кривые 3 и 4 имеют скачки влажности v : первый резкий скачок объясняется наличием грунтовых вод на глубине 4 м и 6,8 м, соответственно, второй – из-за разной влагоемкости каждого слоя песка и глины. Причем, для песка v максимальная с 4 м до 5 м для кривой 3, с 6,8 м до 11 м для кривой 4, так как на этой глубине находятся грунтовые воды.

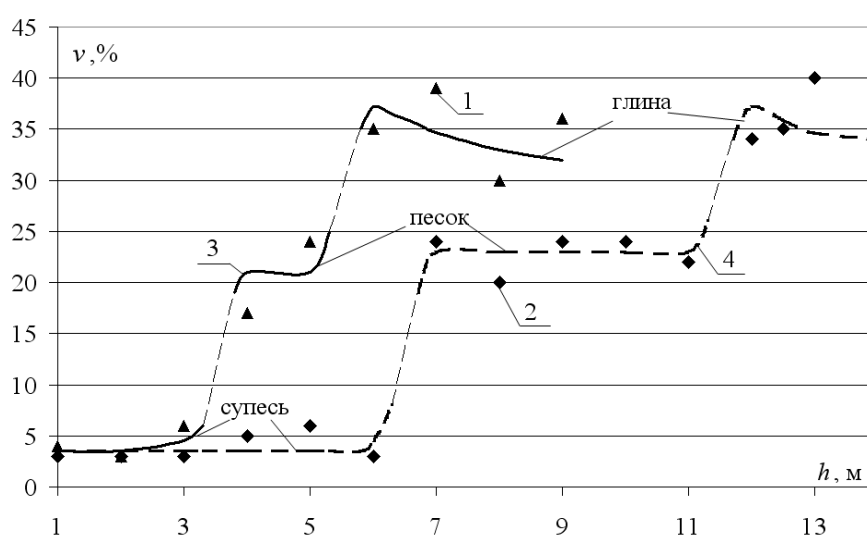


Рисунок 3 – Значения влажности для трех слоев по данным геологоразведочной фирмы ТОО «Изыскатель» и полученной модели в январе (кривая 3) и в мае месяце (кривая 4)

Адекватность модели подтверждается с помощью критерия Фишера, который равен 3,34 для сухого грунта и 3,59 для влажного, что выше табличного 3,26 ($\alpha = 0,05$). Таким образом, зная количество слоев, их вид и глубину залегания грунтовых вод, по формуле (4) получаем влажность грунта в любое время года на глубинах от 1 м до 15 м.

Выводы:

1 Полученная зависимость влажности на глубинах до 1 м от среднемесячного количества осадков, температуры на поверхности грунта и скорости ветра позволяет находить ее с погрешностью не превышающей 50%.

2 Модель определения влажности в зависимости от уровня грунтовых вод на глубинах от 1 м до 15 м в любое время года работает с погрешностью, не превышающей 20% для сухих грунтов и 10% для влажных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учеб. для проф. учеб. заведений / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин, В.А. Яшков. -М.: Высш. шк., 2001.
 - 2 Карякин, Р.Н. Заземляющие устройства электроустановок: справочник / Р.Н. Карякин. - М.: Энергосервис, 2002.
 - 3 Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозных и внутренних перенапряжений / РАО «ЕЭС России». -М., 1999.
 - 4 Зайцева, Н.М. Зависимости удельного электрического сопротивления грунта от влажности и температуры / Н.М. Зайцева, Д.С. Зайцев, М.Я. Клецель // Электричество. -2008. - №9. -С. 30-34.
 - 5 Попов, А.А. Регрессионное моделирование на основе нечетких правил / А.А. Попов // Сб. науч. тр. НГТУ. -Новосибирск, 2000. -№2.
 - 6 Лосев, А.П. Агрометеорология / А.П. Лосев, Л.Л. Журина. -М.: КолосС, 2004.
 - 7 Заварыкин, В.М. Численные методы: учеб. пособие для студентов физ.-мат. специальностей пед. ин-тов / В.М. Заварыкин, В.Г. Житомирский, М.П. Лапчик. -М.: Просвещение, 1990. -176 с.: ил.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** заземление, грунт, глубина, влажность, нечеткая логика, нечеткие множества, удельное электрическое сопротивление
- СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Зайцева Наталья Михайловна, канд. техн. наук, доцент «ПГУ им. С. Торайгырова»
Исабекова Бибигуль Бейсембаевна, соискатель «ПГУ им. С. Торайгырова»
- ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова 64, «ПГУ им. С. Торайгырова»

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ ТОКА НА ПОТЕРИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЕ

ФГОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»

Г.Я. Иванов, А.Ю. Кузнецов

THE INFLUENCE OF NON-SINUSOIDAL SHAPE CURRENT LOSSES IN ELECTRICAL MACHINE
«Novosibirsk state agrarian university»
G.Ya. Ivanov, A.Yu. Kuznetsov

In article questions of an estimation of influence non-sinusoidality forms of starting currents on losses of capacity of the asynchronous electric motor with a short-circuited rotor and the transistor converter of frequency with pulse-width modulation are considered.

Keywords: regulated electric

Рассмотрены вопросы оценки влияния несинусоидальности формы стартовых токов на потери мощности асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором и транзисторного преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией.

В последнее время уделяется большое внимание практическим вопросам энергосбережения. Энергосбережение стало одним из приоритетных направлений технической политики во всех развитых странах мира и ведущих компаний [1]. Это связано с возрастающими сложностями экологического характера, а также с очень резко обозначившейся на рубеже десятилетий необходимостью модернизации страны.

Электропривод (ЭП) подавляющего большинства механизмов по техническим требованиям и в пределах реализуемой мощности машины может быть выполнен на основе асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором и транзисторного преобразователя частоты [5] с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), при решении задач выбора которых почти совсем не учитываются составляющие потерь мощности, вызванные влиянием несинусоидальности формы статорных токов на КПД (коэффициент полезного действия) систем ЭП с ШИМ, что вносит значительную погрешность в расчеты суммарных потерь мощности в частично-регулируемых АД [7]

$$\Delta P = \Delta P_m + \Delta P_{Fe} + 3I_m^2 R. \quad (1)$$

Такой подход к расчету суммарных потерь мощности самым существенным образом влияет на выбор оптимального коэффициента загрузки, который необходимо учитывать в связи с тем, что максимум КПД у АД наступает когда переменные потери мощности равны

постоянным [3]. На рисунке 1 приведена расчетная зависимость оптимального коэффициента загрузки от относительной частоты для АД типа 4АМ90L4 мощностью 2,2 кВт.

Расчет приводился для постоянного статического момента и номинального магнитного потока [5] и анализ графика показывает, что оптимальный коэффициент загрузки однозначно смещается в сторону меньших нагрузок при уменьшении частоты, тем самым уменьшая влияние несинусоидальной формы статорных токов на КПД системы ЭП.

Воспользуемся известной в теории электрических машин электрической диаграммой для анализа потерь мощности АД в частично-управляемом электроприводе с питанием от преобразователя частоты с ШИМ приведенной на рисунок 2. Где использованы следующие обозначения:

- P_{Σ} – суммарная потребляемая мощность электродвигателя;
- P_2 – полезная мощность на валу электродвигателя;
- $P_{\text{эм}}, P_{\text{мех}}$ – электромагнитная и механическая мощности машины;
- $\Delta P_{\text{зс}}, \Delta P_{\text{эр}}$ – электрические потери мощности в статорной и роторной обмотках электродвигателя;
- $\Delta P_{\text{доб}}$ – добавочные потери;
- $\Delta P_{\text{мех}}$ – механические потери [2].

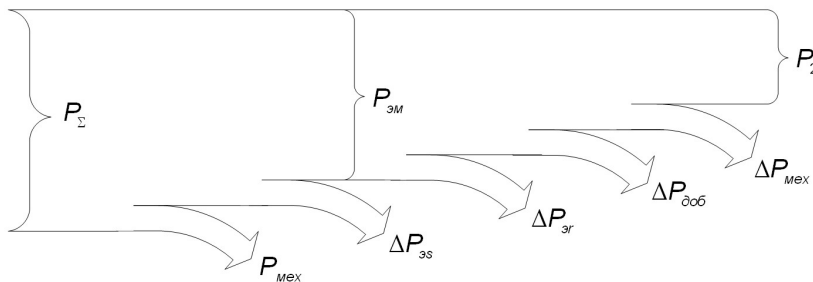


Рисунок 2 – Энергетическая диаграмма АД

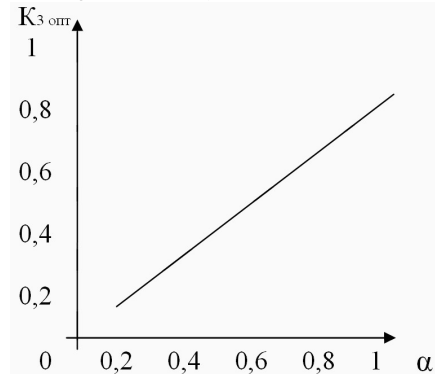


Рисунок 1 – График изменения оптимального коэффициента загрузки $\alpha = f/f_{\text{ном}}$; $M_c = \text{Const}$

Фактическая несинусоидальность формы фазных статорных токов асинхронной машины при питании от преобразовательной частоты с ШИМ вызывает в каждом межкоммутационном интервале периодическое изменение вектора статорного тока

$\vec{I}_s$. Период ШИМ достаточно мал и обмотка статора АД, обладающая свойствами фильтра низких частот, при импульсном характере мгновенных значений составляющих модуля I_s сказывается на наличии высокочастотных пульсаций мгновенных значений активной мощности, вызывающих дополнительные потери [5].

Среднее полное значение потребляемой мощности электрической машины за n -ый межкоммутационный интервал определяются из выражения [6]

$$P_s^* = \frac{1}{\tau_n} \int_0^{\tau_n} P_{\Sigma}(t) dt = R_s I_1^2 \left[1 + \frac{1}{12} \frac{I_n^2}{I_1^2} \right] + k \omega_1 \psi_r I_1 \sin \gamma, \quad (2)$$

- где I_1 – ток статора;
- I_n – модуляционная составляющая вектора тока статора;
- ω_1 – угловая частота основной гармоники фазного статорного тока;
- k – коэффициент приведения ротора;
- ψ_r – потокосцепление ротора;
- γ – угол между вектором тока стартера I_s и потокосцеплением ротора ψ_r (угол нагрузки);
- τ_n – длительность n -го межкоммутационного периода.

Первое слагаемое описывает среднее значение за межкоммутационный период электрические потери в статорной обмотке машины, а второе – среднюю развиваемую электромагнитную мощность идеализированной асинхронной машины (без учета потерь в сети)

$$P_{эм} = \omega_1 M^*.$$

Для стационарного режима (то есть при I_1 , $\omega_1 = \text{Const}$) при релейном управлении модулем I_s , среднее значения электрических потерь мощности статора $\Delta P_{эс}$ и электромагнитной мощности $\Delta P_{эм}$ остаются неизменными на любом текущем межкоммутационном интервале работы преобразователя с ШИМ.

С учетом этого указанные мощности можно принять при расчетах равными соответствующим средним значениям статорных электрических потерь мощности и электромагнитной мощности АД (достаточно просто рассчитать за время усреднения, равное периоду основной гармоники фазного статорного тока машины) [5].

Для электроприводов с высокочастотной ШИМ средняя мощность электрических потерь в роторе $\Delta P_{р}$ может вычисляться аналогично электрическим потерям в статоре электродвигателя, с помощью коэффициентов приведения для машин небольшой и средней мощности, а также через амплитуду I_1 основной гармонической составляющей статорного тока, угол γ нагрузки, собственное R_r и эквивалентное R'_r значения активных сопротивлений ротора [3]

$$\Delta R_{р} = R_r I_1^2; R'_r = k R_r \left[\sin^2 \gamma + \delta \left(\frac{I_n}{I_1} \right)^2 \right]. \quad (3)$$

Так как собственное активное сопротивление R_s статорной обмотки асинхронных машин небольшой мощности практически не зависит от частоты статорного тока [1], то при расчетах испытуемой машины (2,2 кВт) коэффициент приведения находился в виде

$$\delta = \frac{1}{12}. \quad (4)$$

Просуммировав электрические потери мощности в статорных и роторных обмотках электрической машины, получим суммарные электрические потери $\Delta P_э$ мощности асинхронной машины в электропроводах с преобразователями частоты с ШИМ. Эти потери мощности содержат основную $\Delta P_{э1}$ (зависящую от амплитуды I_1 основной гармоники статорного тока) и модуляционную $\Delta P_{эп}^*$ (зависящую от модуляционных пульсаций статорного тока) составляющие

$$\Delta P_э = \Delta P_{э1} + \Delta P_{эп}^*; \Delta P_{э1} = (R_s + k^2 R_r \sin^2 \gamma) I_1^2; \Delta P_{эп}^* = \delta (R_s + k^2 R_r) I_n^2. \quad (5)$$

Согласно приведенной на рисунке 2 энергетической диаграмме суммарные потери мощности ΔP_Σ содержит еще добавочные потери мощности, рассчитываемые по формулам [5]

$$\Delta P_{доб} \approx 0,005 I_1^2 \frac{P_H}{\eta_H}; \Delta P_{мех} \approx \Delta P_{мехн} \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2. \quad (6)$$

Электромагнитные процессы протекающие в короткозамкнутом двигателе в стационарных режимах релейного регулирования модуля I_s достаточно подробно изучены и для асинхронной машины, питаемой от статического преобразователя частоты с ШИМ (работа АИН-ШИМ, НПЧ-ШИМ) любого n -го межкоммутационного интервала можно воспользоваться соотношениями описанными в [2, 3].

Выражение для расчета общей электромагнитной мощности потерь $\Delta P_{эм}$ из энергетической диаграммы для асинхронного ЭП с ШИМ запишем в виде суммы $\Delta P_{эм} = \Delta P_{эм1} + \Delta P_{эмП}$ [7], где основную составляющую общих потерь мощности машины представим в виде

$$\Delta P_{эм1} = I_1^2 \left(R_s + 0,005 \frac{P_H}{\eta_H} \right) + k^2 R_r \sin^2 \gamma + \Delta P_{см.н} \left(I_m^2 \cos^2 \gamma + k^2 L_{\sigma r}^2 \sin^2 \gamma \right) \frac{\omega_1^{1,3}}{\psi_{тн}^2}, \quad (7)$$

а модуляционную составляющую этих потерь в виде

$$\Delta P_{эмП} = \Delta I^2 \left[\delta (R_s + k^2 R_r) + \frac{k^2 \Delta P_{см.н} L_{\sigma r}^2 \left(\frac{f_m}{50} \right)^{1,3}}{4 \psi_{тн}^2} \right], \quad (8)$$

где f_m — среднее значение модуляционной частоты, рассчитывается исходя из количества межкоммутационных интервалов за полупериод статорного тока машины;

- $L_{\sigma r}$ — индуктивность рассеяния ротора;
 ψ_{mn} — номинальная амплитуда главного потокосцепления машины;
 $\Delta P_{ст.н}$ — потери в стали номинальные;
 k — коэффициент приведения ротора,

$$k = \frac{L_m}{L_{\sigma r} + L_m}.$$

Приведенные зависимости позволяют рассчитать потери мощности частотно-управляемой асинхронной машины в электроприводах с ШИМ с достаточной точностью не только при релейном управлении. Определенную поправку можно вносить с учетом оптимального коэффициента загрузки, что позволяет компенсировать при расчетах среднеквадратичное значение пульсаций модуля I_s вектора тока статора. В зависимости от коэффициента загрузки и диапазона изменения модуляционной частоты в пределах 1-15 кГц, несинусоидальность формы статорных токов в электроприводах с АИН-ШИМ приводит к дополнительным модуляционным потерям мощности асинхронной машины до 16%, что в целом вызывает снижение общего коэффициента полезного действия в приближенных инженерных расчетах не менее чем на 2-5% для машин малой мощности (менее 10 кВт).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Современное состояние и тенденции в асинхронно-регулируемом электроприводе: (корот. анализ. обзор) / Л.Х. Дацковский [и др.] // Электротехника. -1996. -№10. -С. 18-28.
 - 2 Браславский, И.Я. Асинхронный энергосберегающий электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. -М.: Академия, 2004. -256 с.
 - 3 Эпштейн, И.И. Автоматизированный электропривод переменного тока / И.И. Эпштейн. -М.: Энергоатомиздат, 1982. -192 с.
 - 4 Иванов, Г.Я. Потери мощности асинхронного двигателя при частотном регулировании / Г.Я. Иванов, А.Ю. Кузнецов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№1. -С. 362-364.
 - 5 Шрейнер, Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р.Т. Шрейдер. -Екатеринбург: УО РАН, 2000. -653 с.
 - 6 Волков, А.В. Анализ стационарных режимов асинхронного двигателя при питании от автономного инвертора с широтно-импульсным способом регулирования выходного напряжения / А.В. Волков // Техн. электродинамика. -1998. -№6. -С. 42-47.
 - 7 Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский. -М.: Академия, 2006. -264 с.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** регулируемый электропривод
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Иванов Геннадий Яковлевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАУ»
Кузнецов Андрей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, ФГОУ ВПО «НГАУ»

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОВЗОВ ВЛ-85 И ЗЭС5К

ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

А.М. Худонов, Х.И. Шарабханов, А.В. Кочетков

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF COOLING ELECTRIC ВЛ-85 AND ЗЭС5К

«Irkutsk state transport university»

A.M. Hudonogov, H.I. Sharabhanov, A.V. Kochetkov

The comparison of the characteristics of cooling systems of freight electric locomotives ВЛ-85 and ЗЭС5К from which it can be seen that the overheating of the electric traction motors overheating ЗЭС5К exceeds the traction motors for electric ВЛ-85.

Keywords: trucks, electric, cooling system

Приведено сравнение характеристик систем охлаждения грузовых электровозов ВЛ-85 и ЗЭС5К,

из которого видно, что перегрев тяговых двигателей электровозов ЗЭС5К превышает перегрев тяговых двигателей электровоза ВЛ-85.

В настоящее время на ВСЖД основной объем работ в грузовом движении осуществляют двухсекционными двенадцатиосными электровозами типа ВЛ-85. Срок эксплуатации их составляет от 10 до 40 и более лет. Это в наибольшей мере касается Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД), почти полностью электрифицированной по системе переменного тока, электровозы которой, работая на крутых (17‰ и более) и протяженных расчетных подъемах, имеют нагрузку на 15-25% превышающую нагрузки электровозов остальной сети электрифицированных железных дорог страны [1,4].

С 2010 года на расчетных подъемах ВСЖД поставили в эксплуатацию электровоз ЗЭС5К. С реализацией комплекса мероприятий по совершенствованию тягового оборудования на электровозах ЗЭС5К по сравнению с электровозом ВЛ-85, направленных на снижение расходов охлаждающего воздуха, позволило почти вдвое сократить количество вентиляторов и затраты мощности на систему вентиляции, что может привести к перегреву тяговых двигателей, в дальнейшем это приведет к снижению срока службы изоляции. Так же модернизация системы вентиляции требует детальной проработки по нагреванию предельно нагруженного оборудования электровоза типа ЗЭС5К по сравнению с электровозом ВЛ-85.

Нагревание электрических машин является основным фактором, определяющим их номинальные мощности и токи. Температура, которой достигает машина, зависит не только от количества тепла, которое в ней каждую секунду выделяется, но и от условий отвода его из машины. Поэтому расчету нагревания предшествует расчет ее вентиляции.

При вентиляционном расчете решают две задачи: устанавливают объемный расход воздуха Q , м³/мин, продуваемого через машину, необходимый для отвода возникающего в ней тепла, и выявляют напор H , мм, который обеспечивает продувание этого количества воздуха, то есть аэродинамическая характеристика является определяющей.

Рассмотрим и сравним системы вентиляции двух грузовых электровозов ВЛ-85 и ЗЭС5К.

Система вентиляции каждой секции электровоза принудительная и предназначена для охлаждения тяговых двигателей (ТД), выпрямительно-инверторных преобразователей (ВИП), теплообменников тягового трансформатора (ТТТ), сглаживающих реакторов (РС), выпрямительной установки возбуждения (ВУВ), блока балластных резисторов (ББР), блока диодов (БД) и для обеспечения требуемого избыточного давления в кузове с целью защиты от проникновения в него пыли и снега во время движения электровоза, а также для охлаждения кузова в летнее время.

Система вентиляции обеспечивает следующие значения расходов воздуха для охлаждения электрооборудования приведены в таблице 1.

Блоки центробежных вентиляторов предназначены:

Таблица 1 – Значения расходов воздуха для охлаждения электрооборудования электровозов ВЛ-85 и ЗЭС5К, м³/мин.

Наименование потребителя воздуха	ВЛ-85	ЗЭС5К
Тяговый двигатель	95	70
Теплообменник тягового трансформатора	130	90
Сглаживающий реактор	45	25
Блок балластных резисторов (в горячем состоянии)	>280	>250
Выпрямительная установка возбуждения	100	100

ЦВВ 89-15 №8,2 – для охлаждения силовых преобразователей, тяговых двигателей, сглаживающих реакторов и индуктивных шунтов;

Ц8-19 №6,5 – для охлаждения силового трансформатора и выпрямительных установок возбуждения;

Ц8-19 №7,6 – для охлаждения балластных резисторов;

ЦВ9-37,6-7,6 – для охлаждения электрооборудования;

Ц9-37,6-7,6 – для охлаждения кузова электровоза.

Приводом вентиляторов является электродвигатель АНЭ-225.

Рассмотрим, как зависит подача охлаждающего воздуха от изменения токовой нагрузки. В установившемся режиме выделяющаяся в обмотке теплота отводится охлаждающим воздухом

$$k I^2 r = c \tau_{\infty} Q^n,$$

откуда

$$Q = \eta \sqrt{k I^2 r / c \tau_{\infty}},$$

где c – коэффициент пропорциональности.

Поскольку $n < 1$, то $2/n > 2$, то есть расход воздуха, необходимый для поддержания заданных температурных условий, имеет степенную зависимость от силы тока и определяется конструктивными особенностями охлаждаемого оборудования [2, 3, 5]. Технические данные вентиляторов приведены в таблице 2

Таблица 2 – Технические данные вентиляторов электровозов ВЛ-85 и ЗЭС5К

Наименование параметра	ВЛ-85			ЗЭС5К	
Тип вентилятора	ЦВВ 89-15 №8,2	Ц8-19 №7,6	Ц8-19 №6,5	ЦВ9-37, 6-7,6	Ц9-37, 6-7,6
Подача, м ³ /мин.	320	210	130	265	225
Полное давление, развиваемое вентилятором, даПа	424	345	245	336	345
Мощность на валу электродвигателя, кВт	32,5	19,5	8,8	24	20
Коэффициент полезного действия, %	67,5	62	60	60	61,5
Эффективность очистки воздуха, %					
– от пыли	45	–	–	–	–
– от снега	60	–	–	90	–
Рабочая частота вращения, мин ⁻¹	1470	1470	1470	1470	1470

В таблице 3 приведены значения $2/n$ для основного силового оборудования.

Необходимая подача воздуха при заданном значении силы тока рассчитывается по формуле

Таблица 3 – Значения $2/n$ для основного силового оборудования

Наименование силового оборудования	Численное значение $2/n$
Тяговые двигатели	2,50
Силовой трансформатор	2,32
Сглаживающий реактор	2,50
Силовые резисторы	2,78
Преобразовательная установка	2,50

$$Q = Q_{\text{ном}} \left(\frac{I}{I_{\text{ном}}} \right)^{2/n}. \quad (3)$$

где $I, I_{\text{ном}}$ – токи двигателя и ток номинальный, А;

$Q_{\text{ном}}$ – номинальная подача воздуха, м³/с.

Отсюда можем найти необходимую подачу воздуха:

– для электровоза ВЛ-85

$$Q = 5,33 \left(\frac{813}{843} \right)^{2,5} = 4,9 \text{ м}^3/\text{с};$$

– для электровоза ЗЭС5К

$$Q = 4,41 \left(\frac{1046}{810} \right)^{2,5} = 8,4 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Вывод. В результате сравнения характеристик систем охлаждения грузовых электровозов ВЛ-85 и ЗЭС5К на участке следования Иркутск-Сортировочный - Слюдянка-1 видно, что перегрев тяговых двигателей электровозов ЗЭС5К превышает на 40 °С по сравнению с электровозом ВЛ-85.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Смирнов, В.П. Непрерывный контроль температуры предельно нагруженного оборудования электровоза: монография / В.П. Смирнов. -Иркутск, 2003. -328 с.

2 Худонов, А.М. Асинхронный электропривод технологических установок железнодорожного транспорта: учеб. пособие / А.М. Худонов, В.П. Смирнов, И.А. Худонов. - Иркутск, 2001. -94 с.

3 Космодамианский, А.С. Автоматическое регулирование температуры обмоток тяговых электрических машин локомотивов: монография / А.С. Космодамианский. -М.: Маршрут, 2005. -256 с.

4 Смирнов, В.П. Непрерывный контроль температуры предельно нагруженного оборудо-

дования электровоза: монография / В.П. Смирнов. -Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2003. - 328 с.

3 Проектирование тяговых электродвигателей: учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / А.С. Курбасов [и др.]; под. ред. А.С. Курбасова. -М.: Транспорт, 1987. -536 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: грузовой, электровоз, система охлаждения

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Худоногов Анатолий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «ИрГУПС»

Шарабханов Хачик Иванович, аспирант ГОУ ВПО «ИрГУПС»

Кочетков Алексей Валерьевич, аспирант ГОУ ВПО «ИрГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ГОУ ВПО «ИрГУПС»

РОТАЦИОННЫЕ РЕГУЛИРУЕМЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

С.А. Евдокимов, В.И. Сопов, А.А. Помазная, О.Л. Волкова, В.Г. Шальнев

ROTATIONALLY CONTROLLABLE RECTIFIERS

«Novosibirsk state technical university»

A.S. Evdokimov, V.I. Sopov, A.A. Pomaznaya, O.L. Volkova, V.G. Shalnev

Multiphase rectification circuits with rotation of transformer secondary voltage systems are regarded in the paper. The circuits ensure the multilevel control with a high power factor.

Keywords: controlled rectifier, systems rotation, power factor

Рассмотрены многофазные схемы выпрямления с ротацией систем вторичных напряжений трансформатора, обеспечивающие многоуровневое регулирование с высоким показателем коэффициента мощности.

Многофазные преобразователи тяговых подстанций электрического ж.д. транспорта с каскадным последовательным или последовательно-параллельным соединением шести-фазных преобразовательных секций обеспечивают регулирование уровня выпрямленного напряжения методом фазового регулирования. Известно также, что одним из недостатков фазового регулирования является снижение коэффициента мощности.

Вместе с тем, приемлемый диапазон регулирования можно достичь за счет изменения числа последовательно соединенных преобразовательных секций выпрямительного агрегата. Однако качество выпрямленного напряжения при полном включении всех секций значительно снизится. Возникает вопрос, осуществимо ли, например, 24-фазное преобразование при использовании суммы выпрямленных напряжений трех 6-пульсных каскадов в составе 4-каскадного преобразователя или 18-фазное преобразование при использовании суммы выпрямленных напряжений двух 6-пульсных каскадов в составе 3-каскадного преобразователя?

Рассмотрим 18-пульсный мостовой выпрямитель последовательного типа. Три системы питания его преобразовательных секций представлены треугольниками 1, 2 и 3 (рисунок 1). Последовательный сдвиг одноименных фаз треугольников равен 20 эл. град.

Построим схему (рисунок 2), сочетающую в себе возможность двух- и трехкаскадного 18-фазного преобразования с помощью метода вращающихся векторных диаграмм [1].

В конфигурациях данных диаграмм уже заложен образ вентильной схемы, которая получится или кольцевой или лестнично-кольцевой.

Для построения двух-трех-каскадного выпрямителя базовый трехмостовой преобразователь снабдим пятью полностью управляемыми вентилями (рисунок 2), два из которых (VS1 и VS2) развязывают смежные мосты, один (VS3) обеспечивает непосредственную связь крайних мостов, минуя средний, а два (VS4 и VS5) позволяют подключать анодную и катодную группы вентилей среднего моста к выходным выводам устройства.

Принцип работы преобразователя иллюстрируется векторными диаграммами напряжений, представленными в виде амплитудно-фазовых портретов напряжений вторичных фазных обмоток (на рисунке 1б – для трехкаскадного, а на рисунке 1а – для двухкаскадного соединений систем).

Из векторных диаграмм видно, что при двухкаскадном соединении каждая из трех систем задействована в формировании 12 результирующих напряжений, так как системы цик-

лично сменяют друг друга.

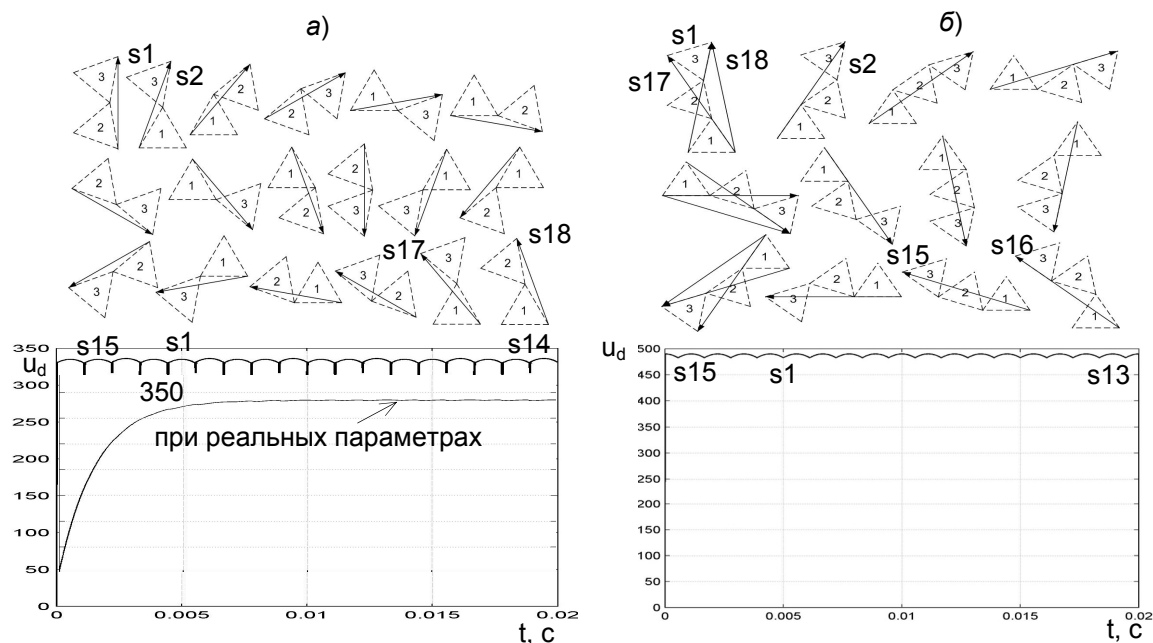


Рисунок 1 – Векторные диаграммы для синтеза вентильных схем и анализа 18-фазных преобразователей: а)-двухкаскадного; б)-трехкаскадного

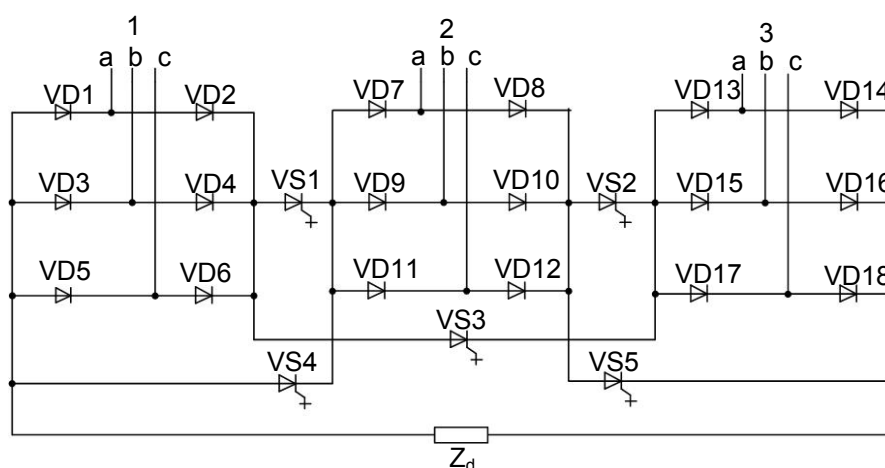


Рисунок 2 – 18-фазный двух-трехкаскадный мостовой преобразователь

Для получения в преобразовательном цикле двух- или трехкаскадного соединения систем пять вентилей, не входящих в состав вентильных мостов, должны быть выполнены только управляемыми. Последовательность управляемого и естественного включения всех вентилей при формировании выпрямленного напряжения, соответствующего трем каскадам, приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Алгоритм работы и включения вентилей при трех каскадах

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18
5	5	5	5	5	5	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3
2	2	2	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	11	11	11	11	11	11	7	7	7	7	7	7	9	9	9	9	9
8	8	8	8	10	10	10	10	10	10	12	12	12	12	12	12	12	8
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
15	15	17	17	17	17	17	17	13	13	13	13	13	13	15	15	15	15
14	14	14	14	14	16	16	16	16	16	16	18	18	18	18	18	18	14

Номера управляемых вентилях в таблице 1 и последующих таблицах отмечены курсивом. В режиме формирования суммарного выпрямленного напряжения от трех каскадов в работе участвуют только два из управляемых вентилях – VS1 и VS2, которые должны быть включены весь период сетевого напряжения.

Последовательность управляемого и естественного включения вентилях устройства при формировании выпрямленного напряжения, соответствующего двум каскадам, приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Алгоритм работы и включения вентилях при двух каскадах

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18
4	5	5	4	5	5	4	1	1	4	1	1	4	3	3	4	3	3
9	2	2	11	4	4	11	4	4	7	6	6	7	6	6	9	2	2
8	3	1	8	3	1	10	3	1	10	3	1	12	3	1	12	3	1
2	–	11	2	–	11	2	–	7	2	–	7	2	–	9	2	–	9
15	15	8	17	17	10	17	17	10	13	13	12	13	13	12	15	15	8
14	14	5	14	14	5	16	16	5	16	16	5	18	18	5	18	18	5

Данный преобразователь позволяет дискретно изменять уровень выпрямленного напряжения, не прибегая к известным методам фазового или амплитудного регулирования. Заданное чередование применяемых алгоритмов включения на два или три каскада дает возможность регулирования выпрямленного напряжения между его уровнями при двух и трех каскадах. Таким образом, рассмотренный преобразователь трехфазного напряжения, расширяет область применения и функциональные возможности.

Рассмотрим 24-фазный трех-четырёхкаскадный кольцевой преобразователь (рисунок 3), полная конфигурация вентилях части данного преобразователя получена при синтезе трехкаскадной структуры [2]. Схема содержит 36 вентилях, управляемыми выполнены только вентилях шестивентильных колец.

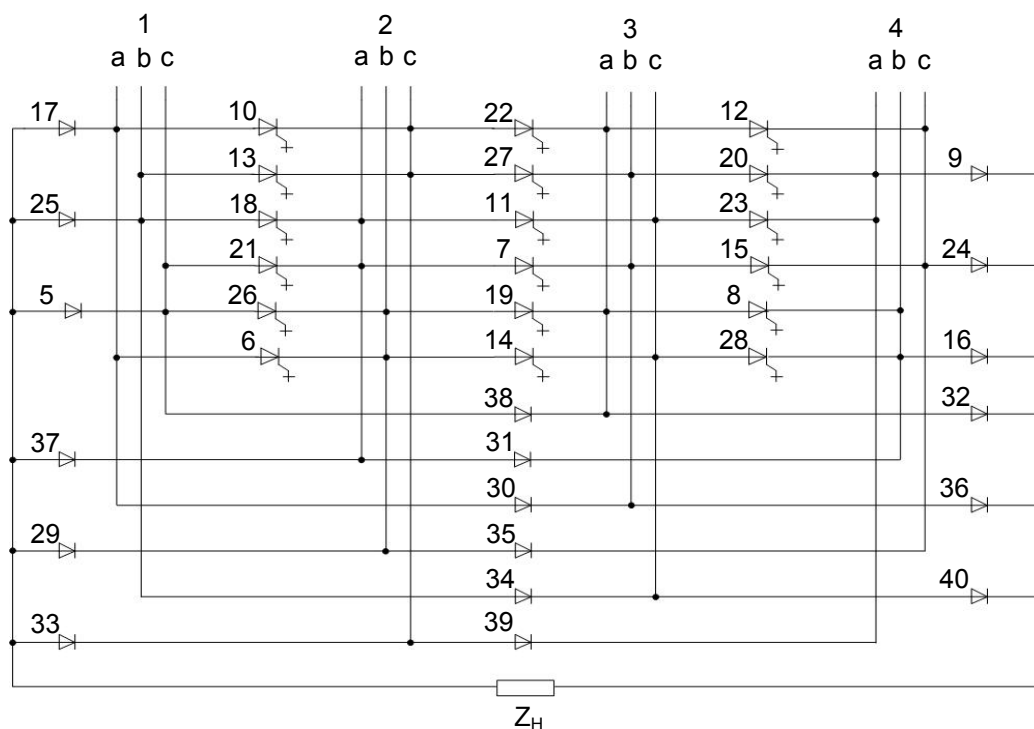


Рисунок 3 – Трех-четырёхкаскадный 24-фазный преобразователь

Принцип работы преобразователя в четырехкаскадном режиме не отличается от принципа работы рассмотренного выше преобразователя. Для организации трех- или четырехкаскадного соединения систем вентилях шестивентильных колец выполнены управляемыми. Алгоритмы работы и включения вентилях в трёхкаскадном, четырёхкаскадном и переходном режимах приведены в [1].

На рисунке 4 показан один из вариантов перехода с трехкаскадного на четырехкаскадный режим работы в одном из периодов сетевого напряжения (длительность и пауза пере-

ходных импульсов взяты равными двум длительностям пульсации). В качестве временной привязки выбраны моменты формирования пульсаций при четырехкаскадном преобразовании, так как начало пульсации s_{19} при этом совпадает с нулевой фазой напряжения фазы а трехфазной системы напряжений 1.

Преобразователь позволяет изменять уровень выпрямленного напряжения, не прибегая к известным методам фазового или амплитудного регулирования. Заданное чередование применяемых алгоритмов включения на разные, по числу каскадов, режимы работы дает возможность регулирования выпрямленного напряжения между двумя уровнями с определенным снижением качества преобразования.

Выводы:

1 Многоуровневые преобразователи, с ротацией систем переменных напряжений, обеспечивают снабжение потребителя по одному каналу, при этом позволяют дискретно изменять уровень выпрямленного напряжения при сохранении максимально возможного его качества, причем с максимально возможным коэффициентом мощности.

2 В данных преобразователях осуществим релейный режим регулирования выпрямленного напряжения, позволяющий осуществлять плавное регулирование между уровнями. Относительная

сложность схемного решения вентильной части, по сравнению с традиционными мостовыми многофазными схемами, вполне может быть компенсирована высокими энергетическими показателями. Важно то, что трансформаторное оборудование для таких преобразователей не отличается от оборудования преобразователей с вентильными мостами.

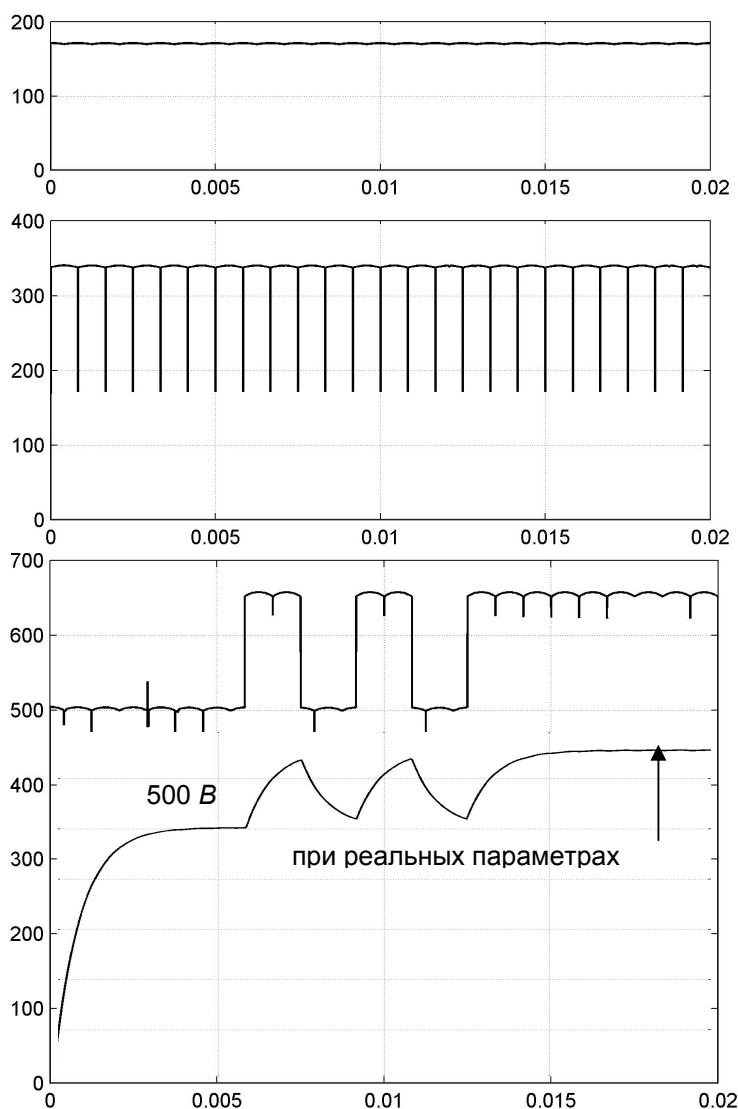


Рисунок 4 – Выходные напряжения 24-фазного преобразователя при четырех режимах его работы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Евдокимов, С.А. Структурный синтез многофазных вентильных преобразователей: монография / С.А. Евдокимов, Н.И. Щуров. -Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. -423 с.

2 Евдокимов, С.А. Синтез схем выпрямителей с последовательно-параллельной работой систем переменных напряжений / С.А. Евдокимов // Материалы VIII Международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения»: в 7 т. / Новосиб. гос. техн. ун-т. -Новосибирск, 2006. -Т.6. -С. 64.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: управляемый выпрямитель, ротация систем, коэффициент мощности

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Евдокимов Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

Сопов Валентин Иванович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

Помазанная Анна Александровна, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»

Волкова Ольга Леонидовна, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»

Шальнев Виктор Георгиевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОКА В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ПОЧВЫ, СОЗДАВАЕМОГО МОБИЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ

ФГОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»

ГНУ «Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства» Сибирского отделения Российской академии сельскохозяйственных наук

В.Г. Ляпин, Д.С. Болотов

MODELING OF DENSITY OF A CURRENT IN THE TOP LAYER OF THE GROUND, CREATED BY MOBILE ELECTROTECHNOLOGICAL INSTALLATIONS

«Novosibirsk state agrarian university»

«Siberian institute of mechanization and electrification of an agriculture»

V.G. Lyapin, D.S. Bolotov

The technique of imitating modeling of action of an electromagnetic field of electrode system of mobile electrotechnological installation on biological object in software package Elcut 5.6 is offered. Pictures of distribution of density of the current created in model of a plant at passage of an electrode in ground on depth of 2,5 sm, on a surface of ground and above ground at height 2,5 see are resulted. Dependences of density of a current in model from spatial position of an electrode in structure «air above ground-a plant with rod root system-the top layer of ground» are received.

Keywords: mobile electrotechnological installation, electromagnetic field, density of a current, potential, electrode, biological object, method of final elements

Предлагается методика имитационного моделирования действия электромагнитного поля электродной системы мобильной электротехнологической установки на биологический объект в программном пакете Elcut 5.6. Приводятся картины распространения плотности тока, создаваемого в модели растения при прохождении электрода в почве на глубине 2,5 см, по поверхности почвы и над почвой на высоте 2,5 см. Получены зависимости плотности тока в модели от пространственного положения электрода в структуре «воздух над почвой-растение со стержневой корневой системой-верхний слой почвы».

Известно, что проблема гармонического и импульсного электромагнитного поля (ЭМП) источников, расположенных вблизи и внутри различных неоднородностей, а также связанные с ней проблемы проникновения и ослабления поля, являются одними из актуальных задач электрофизики, биофизики и электротехнологии. Интерес к этим проблемам возник давно, а сегодня стимулируется потребностями и перспективами различных практических приложений: электросвязи, геофизики, биологии, медицины, электротехнологии, электромагнитной совместимости, электромагнитного экранирования и т.д. Различные неоднородности составляют основу всех биологических сред, многочисленных искусственных и естественных образований, а воздушные, почвенные и, особенно, биологические объекты (БО) обладают повышенными нелинейностью и нестационарностью, свойством саморегулирования, имеют высокий уровень неконтролируемых возмущений, ограниченные наблюдаемость и управляемость. Для решения такого рода практических проблем важным является наличие теоретических моделей расчета ЭМП, основанных на математических методах решения соответствующих электродинамических задач. Известно, что не во всех случаях решение задачи можно записать аналитически, то есть в явном виде и это можно сделать, если неоднородность представляется телом правильной геометрической формы (плоскость, цилиндр, шар), криволинейные координаты которого совпадают с декартовой, цилиндрической или сферической системами координат.

Важной составляющей модели ЭМП является описание распределения потенциала ϕ в объеме исследуемой среды (воздушной, почвенной, биологической и др.). Остановимся на постановке задачи о распределении ϕ ЭМП, возбуждаемых источниками, расположенными вблизи и внутри различных сред. Результаты решения этой задачи представлены в работах [1-3], цель которых – создание модели и методик расчета ЭМП, пронизывающих различные неоднородности «воздух над почвой-растительность-верхний слой почвы» (ВРП), возбуждаемых источниками, расположенными вблизи и внутри этих структур. Предмет исследования – изменения ЭМП вблизи и внутри структур ВРП, возбуждаемых электродами мобильных электротехнологических установок, в частности культиваторов (ЭТК), характеризующие

процесс прохождения тока и напряжения, их затухание по мере распространения и вынос ϕ в этих зонах, действие на БО и т.д. В этих расчетах использованы упрощающие допущения, так как необходимость учета изменений распределения ϕ и, соответственно, значения плотности тока j по ряду параметров делает задачу расчета ЭМП электродов громоздкой.

При физической формулировке задачи ЭМП мобильных ЭТК возбуждается электродной системой (ЭС), классификация которых приведена в [4]. Остановимся на наиболее распространенных вариантах ЭС: электроды перемещаются над почвой, копируя поверхностный слой на высоте $0 < h < 1$ м; копируют почву, то есть $h = 0$; перемещаются в верхнем слое почвы на глубине $-0,3 \text{ м} < h < 0$. При электрокультивации [5] к электродам ЭТК подается высокое напряжение. Протекающий между электродами через почву и растения ток, индуцирует переменное ЭМП, приводящее к возникновению в верхнем слое почвы и в растительных тканях ϕ . Действие составляющих ϕ и j в тканях приводит к стимуляции, угнетению, повреждению, гибели БО. Для анализа качества электротехнологического процесса (ЭТП) необходимы параметры технологического напряжения и геометрии ЭС, электрические свойства растительности и верхнего слоя почвы, а для подавляющего большинства электротехнологических задач – поверхностный импеданс структуры почва-растительность. При декомпозиции ЭТП можно выделить две подсистемы – электрическую и биологическую, определяющие, соответственно, ЭМП и реакцию БО в процессе действия ЭМП и после его окончания. Связь между подсистемами обеспечивается: ϕ и j , определяющими реакцию БО, то есть стимуляцию, угнетение, повреждение, гибель; движением ЭС и наземных частей растений, влияющими на индуцированное ЭМП. В первом приближении последняя связь слабая и она может быть оборвана. Поэтому вместо связной задачи ЭТП возможно определение ЭМП ЭС и реакции БО при действии известных ϕ и j .

Математическая формулировка первой задачи (модель электрической подсистемы), решение уравнений относительно ϕ , электрические свойства растительности и верхнего слоя почвы, функции ослабления и уровень ЭМП почвы, а также результаты численных расчетов и их анализ приведены в ряде наших работ. В них наиболее распространенный способ математического моделирования ЭТП – это представление его в виде электрической цепи с сосредоточенными параметрами, то есть схемы замещения. Однако в исследуемом объекте при таком аналитическом расчете некоторые параметры электрической цепи и схемы замещения не могут претендовать на точность по вышеперечисленным причинам, то есть присутствием неоднородностей, что не позволяет использовать аналитические методы для электрической задачи ЭТК. Другим источником получения информации в биологических, почвенных, воздушных и конструкционных средах является исследование ЭМП ЭС ЭТК при помощи программных пакетов для моделирования. В России наиболее распространенным и недорогим является пакет Elcut, функциональные возможности которого позволяют проводить анализ распространения ЭМП, пронизывающих неоднородности ВРП, возбуждаемых источниками, расположенными вблизи и внутри этих структур.

Повреждающим БО фактором при электрокультивации является электрический ток в растительной ткани. Появление тока в ткани может происходить при непосредственном электрическом контакте электрода ЭТК с растением, либо на растение оказывает действие ЭМП ЭС. Следовательно, действие ЭМП ЭТК на растительную среду можно оценивать по изменению электрического тока, либо j . Поэтому, имитационное моделирование действия ЭМП ЭС на растительность в программном пакете Elcut 5.6 включает:

- 1) создание плоскостной модели ЭС ЭТК и растения;
- 2) ввод электропроводности и диэлектрической проницаемости растительных тканей наземной части и корневой системы, а также окружающей их среды, то есть воздуха и почвы;
- 3) ввод значения напряжения на ЭС ЭТК и граничных условий;
- 4) определение j , создаваемого ЭМП ЭС в растительных тканях, и представление этого параметра в виде зависимости по высоте стебля и глубине корня на вертикальной оси модели растения;
- 5) ступенчатое изменение местоположения плоскостной модели ЭС ЭТК относительно модели растения, фиксируя при этом параметры j в растительных тканях в соответствии с пунктом 4 для каждой ступени;

б) формирование выводов об изменении j , создаваемого ЭТП, в растительных тканях в зависимости от геометрии ЭС.

Известно, что растительность в полевых условиях имеет неоднородный состав, поэтому на начальном этапе проводить исследования необходимо на отдельных представителях растений с применением распространённых типов электродов. В качестве БО для исследований выбран вьюнок полевой, имеющий в фазе стеблевания в плотных слоях почвы стержневую корневую систему [6], с электропроводностью ткани корневой системы 0,042 См/м, наземных частей – 0,069 См/м. Высота наземной части модели растения – 50 мм, глубина проникновения в почву стержневой корневой системы – 100 мм. Эти электрические свойства и геометрические параметры характерны для среднестатистического вида рассматриваемого БО на начальном этапе его развития. В исследовании была выбрана стержневая форма электрода.

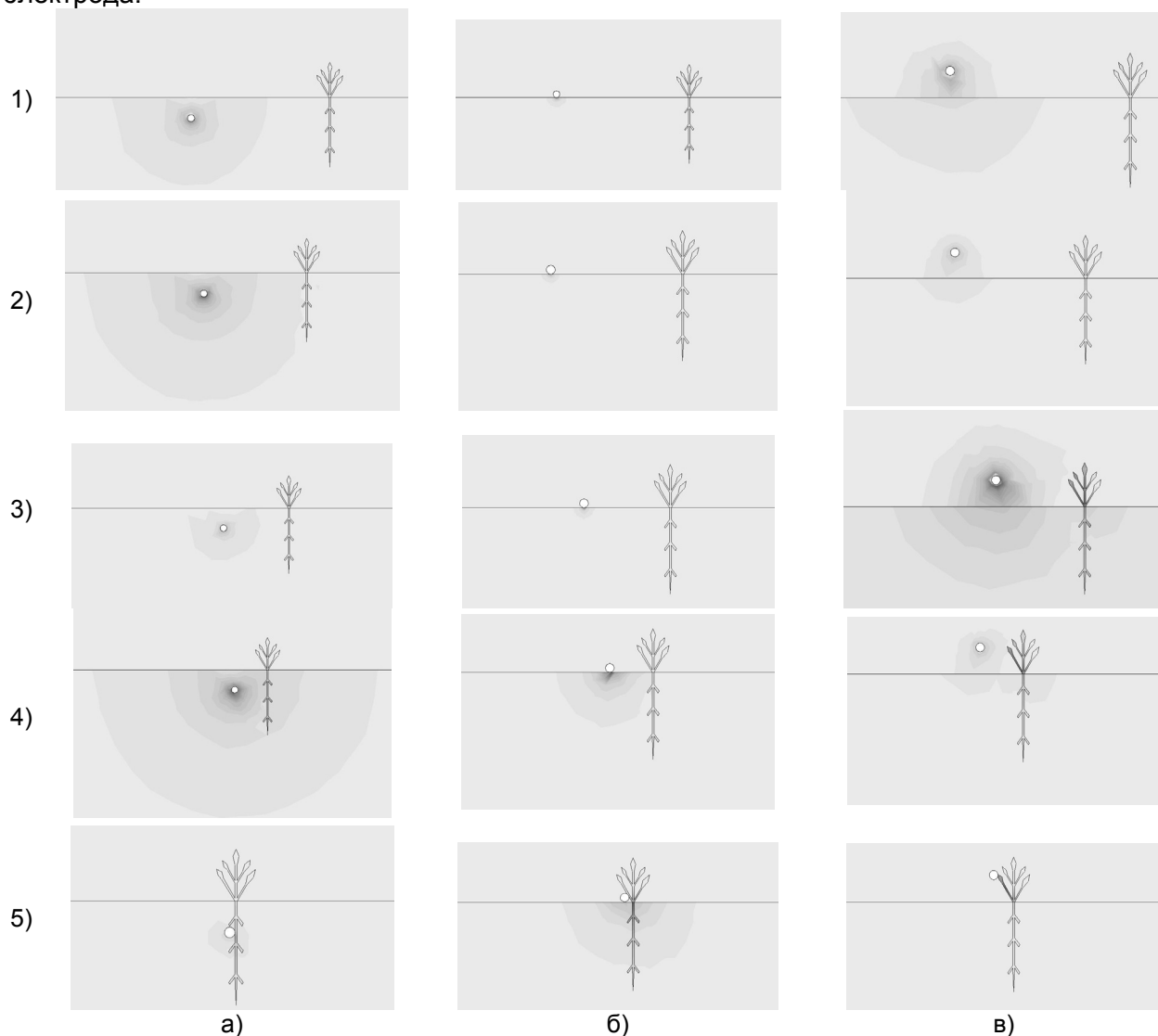


Рисунок 1 – Распределение плотности тока в средах «воздух над почвой-растительность-верхний слой почвы» от стержневого электрода с потенциалом 5 кВ перемещаемого: а)-в почве на глубине 2,5 см; б)-по поверхности почвы; в)-над почвой на высоте 2,5 см; при расстоянии от центра электрода до оси растения: 1)-200 мм; 2)-150 мм; 3)-100 мм; 4)-50 мм; 5) непосредственном контакте с растением

Действие ЭМП на стебель и корень модели растения оценивалось на высоте 0,5 мм и глубине 0,5 и 50 мм относительно основания корневой системы при перемещении электрода ЭТК: на глубине 2,5 см; по поверхности почвы; на высоте 2,5 см. В имитационной модели расстояние от центра стержневого электрода до оси растения изменялось ступенчато с шагом 50 мм в диапазоне от 200 мм и до непосредственного контакта электрода с растением. При скачкообразном изменении j в исследуемых точках шаг уменьшался в два и более раза. Потенциал на поверхности электрода составлял 5 кВ. Эта геометрия, характерная для

энергосберегающего электрического повреждения растительности [5], была выбрана с учетом разрешающей способности пакета Elcut 5.6. Для каждого варианта расположения электрода и растения проводился расчет методом конечных элементов в пакете Elcut 5.6, некоторые результаты которых представлены на рисунке 1, а полученное значение j в расчетной точке заносилось в базу данных. На рисунке 2 представлены зависимости j от пространственного положения электрода для расчетных точек на стебле и корне.

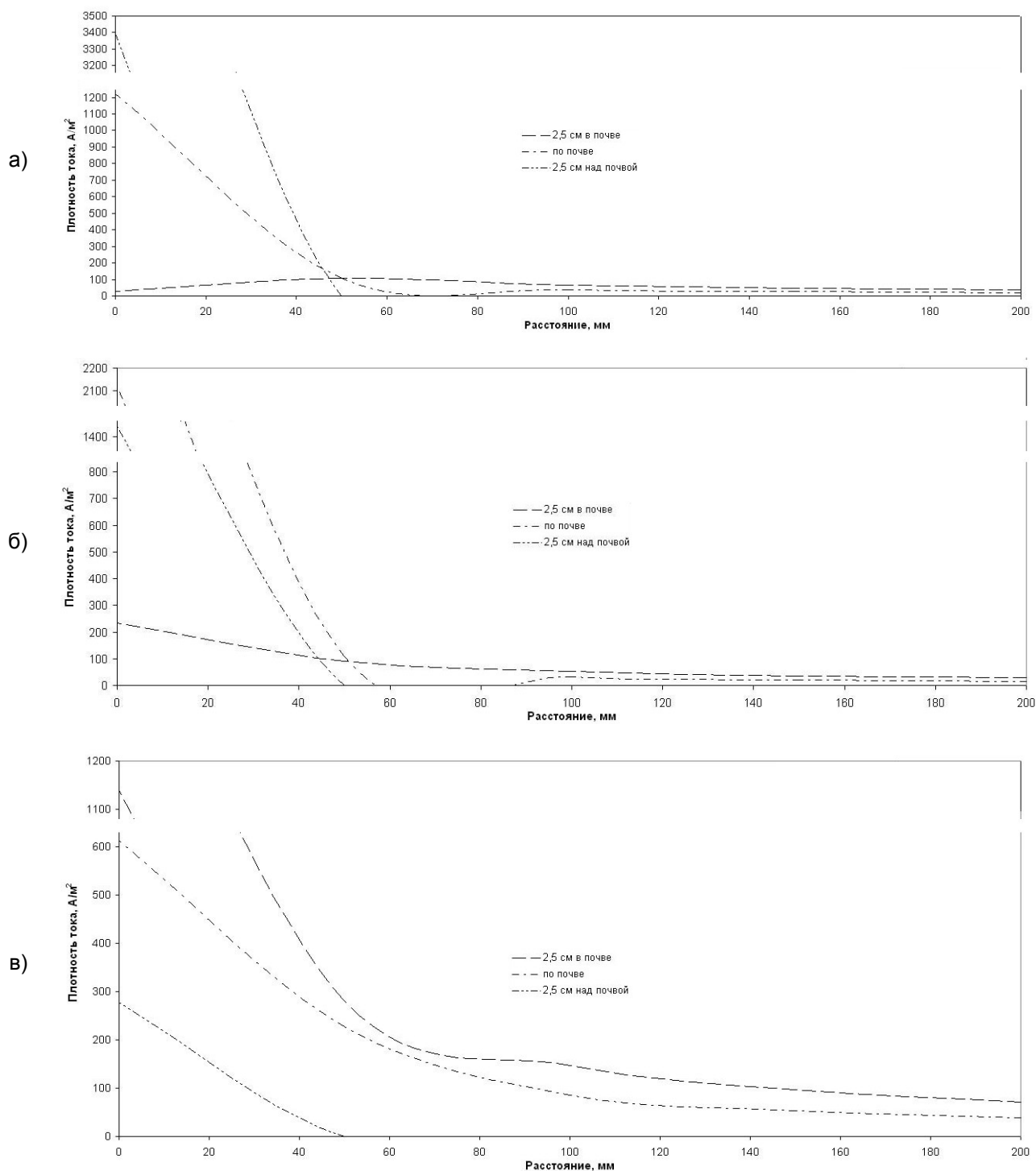


Рисунок 2 – Изменение плотности тока в ткани: а)-стебля на высоте 0,5 мм; б) и в)-корня на глубине, соответственно, 0,5 и 50 мм относительно основания корневой системы при приближении электрода от 200 мм до непосредственного контакта с растением

Максимальная $j = 3390 \text{ A/m}^2$ в расчетной точке наземной части растения наблюдается при высоте хода электрода 2,5 см (рисунок 2а). Достаточно высокую плотность тока

1220 А/м² в этой же точке создаёт электрод, копирующий поверхность почвы, а наименьшая $j = 106 \text{ А/м}^2$ создается электродом, проходящим в почве на глубине 2,5 см.

В расчетной точке на глубине 0,5 мм относительно основания корневой системы максимальную $j = 2110 \text{ А/м}^2$ создаёт электрод, копирующий поверхность почвы (рисунок 2б), достаточно высокую 1440 А/м²-электрод, проходящий на высоте 2,5 см, а наименьшая $j = 234 \text{ А/м}^2$ создается электродом, проходящим в почве на глубине 2,5 см. На глубине 50 мм максимальную $j = 1140 \text{ А/м}^2$ создаёт электрод, проходящий в почве на глубине 2,5 см (рисунок 2в), а достаточно высокую 612 А/м²-электрод, копирующий поверхность почвы. Наименьшая $j = 277 \text{ А/м}^2$ создается электродом, проходящим на высоте 2,5 см.

В оптимальном режиме, с точки зрения электрического повреждения растений, электрод ЭТК необходимо перемещать по поверхности почвы (рисунок 1б). В энергозатратном режиме электрод, проходящий в почве на глубине 2,5 см, создает значительные j вне модели растения в почвенной среде на глубине до 20 см (рисунок 1а). Однако этот режим при высокой засоренности обрабатываемого участка растениями с развитой и глубоко расположенной в почве корневой системой окажет максимальную эффективность электрического повреждения.

На конкретном примере продемонстрировано, что моделирование ЭМП, включающее распространение плотности токов проводимости, является эффективным и чувствительным методом характеристики энергетического состояния электрического поля ЭТК в средах ВРП. С использованием надлежащей математической обработки и моделирования эта методика позволяет определять основные параметры ЭТП.

Показано также, что на основе анализа распространения ЭМП, пронизывающих неоднородности ВРП, возбуждаемых источниками, расположенными вблизи и внутри этих структур, можно определять вид функции плотности энергетических состояний, то есть действие возникающих в тканях составляющих ϕ и j , приводящих к стимуляции, угнетению, повреждению, гибели БО. Подобное моделирование можно проводить для почвенных макро- и микроорганизмов, людей и животных, оказавшихся вблизи ЭТК, то есть, попавших в ЭМП ЭС, которое будет пронизывать эти БО. В итоге решена фундаментальная для ЭТП проблема учета неоднородностей ВРП в параметрах ϕ и j , что позволяет прогнозировать любой фрагмент этих структур, корректно параметризовать БО и определять стимулирующее, угнетающее, повреждающее, губительное действие ЭМП ЭС. Следующим этапом работы является моделирование электромагнитных процессов в средах не только с произвольным распределением удельной проводимости, но и с изменяющейся магнитной проницаемостью, а также с учетом токов смещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ляпин, В.Г. Экспериментальные, аналитические и численные исследования электромагнитных полей мобильных электротехнологических машин / В.Г. Ляпин, Д.С. Болотов // Вестн. КрасГАУ. -2008. -№2. -С. 265-269.

2 Ляпин, В.Г. Методика исследования электрического поля электротехнологического культиватора / В.Г. Ляпин, Д.С. Болотов // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. -2009. -№2. -С. 17-18.

3 Болотов, Д.С. Лабораторные исследования электрического поля электродной системы электротехнологического культиватора стержневого типа при разной влажности почвы / Д.С. Болотов, В.Г. Ляпин // Вестн. КрасГАУ. -2010. -№4. -С. 125-129.

4 Ляпин, В.Г. О классификации и параметрах электродных систем / В.Г. Ляпин // Вестн. ФГОУ ВПО МГАУ. -2008. -№3. -С. 35-37.

5 Ляпин, В.Г. Оборудование и энергосберегающая электротехнология борьбы с нежелательной растительностью / В.Г. Ляпин; Новосиб. гос. аграр. ун-т. - Новосибирск, 2000. -106 с.

6 Практикум по земледелию / И.П. Васильев [и др.]. -М.: КолосС, 2005. -187 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мобильная электротехнологическая установка, электромагнитное поле, плотность тока, потенциал, электрод, биологический объект, метод конечных элементов

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Ляпин Виктор Григорьевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАУ»
Болотов Денис Сергеевич, аспирант ГНУ «СибИМЭ» СО Россельхозакадемии

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, ФГОУ ВПО «НГАУ»
630501, Новосибирская область, п. Краснообск-1, а/я 460, ГНУ «СибИМЭ» СО Россельхозакадемии

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ СИТУАЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ УСТРОЙСТВАМИ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Саяно-Шушенский филиал ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Г.Н. Чистяков, Р.Ю. Беляев

APPLICATION OF FUZZY LOGIC METHODS FOR SITUATIONAL CONTROL DEVICES COMPENSATE FOR THE REACTION-TIVE POWER

«Sayan-Shushensky branch «Siberian federal university»

G.N. Chistyakov, R.Yu. Belyaev

An algorithm is presented for solving the situation control problems of power supply systems using a fuzzy-logic method. The algorithm is illustrated by the example of selecting the installed power of a bucking-out systems.

Keywords: fuzzy-logic, power system supply, bucking-out system

Представлен алгоритм решения задач ситуационного управления в системах электроснабжения, использующий аппарат нечеткой логики. Алгоритм иллюстрируется примером выбора установленной мощности компенсирующих устройств.

Процессы изменения активной и реактивной мощности групповых электрических приемников систем электроснабжения носят случайный характер. Случайность изменения мощностей графиков нагрузки вызывается отсутствием детерминированных связей между индивидуальными графиками потребителей [1]. Наличие различных критериев оптимальности, требует привлечение методов ситуационного управления, предложенных Д.А. Поспеловым [2]. В основе этих методов лежит моделирование управляющих действий лица, принимающего решения, обладающего неформальными сведениями о цели управления и опытом ведения процесса.

При передаче по элементам системы электроснабжения реактивной мощности, объективно необходимой для преобразования электроэнергии, в них возникают потери активной мощности, за которые расплачивается предприятие-потребитель [3]. Альтернативой дополнительной плате за электроэнергию является установка в сети предприятия управляемых согласно определенному алгоритму источников реактивной мощности, параметры которых изменяются в соответствии с реальной обстановкой.

Известно, что ситуационное управление – метод управления, в том числе и сложными техническими системами (такowymi являются и системы электроснабжения), основанный на идеях искусственного интеллекта, то есть представления знаний об объекте управления и способах управления им на уровне логико-лингвистических моделей. Зачастую исследователями при построении управляющих процедур используются основные воздействия на основе обучения и обобщения по текущим ситуациям [4].

Именно логико-лингвистические модели, развивая идеи ситуационного управления [2], позволили создать модели, описывающие знания специалистов в сложных недетерминированных областях с нечеткой логикой и размытыми определениями [5]. Нечеткое управление возникло как технология автоматизации технологических процессов на основе программируемых контроллеров, работа которых основана не на дифференциально-разностных уравнениях, а на основе естественных знаниях с использованием лингвистических переменных, которые описаны размытыми множествами.

Имеются примеры управления режимами электрических систем на основе нечеткой логики. Так, в [6] рассмотрено применение нечеткой логики для согласования режимов работы ветроэнергетической установки с графиком электрической нагрузки. В [7] приведена методика расчета потоков в электроэнергетических системах при наличии ограничений по реактивной мощности и неопределенности исходных параметров. Кроме того, вышел сборник трудов, посвященный применению фазы-управления на электрических станциях [8].

Теоретическими предпосылками к созданию системы управления мощностями компенсирующих устройств (КУ) на основе нечеткой логики явилась необходимость получить удобный и универсальный метод решения оптимизационных задач, связанных с качеством электроснабжения, отличающийся единообразным подходом, независимым от сложности и

внутренней структуры системы.

Постановка задачи. Для реальных сложных систем характерно одновременное присутствие разнородной информации: неполной информации о режимах и значений параметров, допустимых интервалов их изменения, лингвистических критериев и ограничений, полученных от специалистов-экспертов и т.д. Наличие различных видов неопределенности в многоуровневой иерархической системе делает необходимым использование для принятия решений теории нечетких множеств, которая позволяет адекватно учесть имеющиеся виды неопределенности. При этом аппарат нечеткой логики дает неоспоримые преимущества перед аналитическим методом решения, так как позволяет рассматривать систему не вникая в физическую сущность неопределенности. В этом случае нет необходимости введения упрощений системы (как это обычно делается в классическом математическом анализе при составлении схем замещения элементов) и позволяет учитывать все характерные свойства как элементов в отдельности, так и системы в целом. Однако следует учитывать, что простейшие задачи управления могут быть успешно решены и с помощью классического аналитического решения при определенных принятых допущениях с вполне приемлемой точностью и привлечение аппарата нечеткой логики может оказаться необоснованным.

В качестве примера рассмотрим задачу управления мощностями КУ в системе, показанную на рисунке 1а. Поскольку генерация реактивной мощности влияет главным образом на режим напряжений и распределение мощностей системы, то критерием оптимальности являются потери активной мощности. Изложим постановку задачи оптимизации.

1 Уравнение цели – минимум потерь активной мощности

$$\Delta P \Rightarrow \min.$$

2 Уравнение связи имеет вид $P_i(Q_i)$, где i -номер источника реактивной мощности. Уравнения связи, в общем, описывают технологический процесс системы и показывают зависимость выходных параметров системы от управляемых параметров и состояния неуправляемых. Такая зависимость используется как вспомогательная для вычисления целевой функции.

3 Уравнение ограничения – балансовое уравнение реактивных нагрузок Q_n и мощностей источников реактивной мощности Q_i

$$W_Q = Q_n + \Delta Q - \sum_{i=1}^r Q_i = 0. \quad (2)$$

При использовании аппарата нечеткой логики рассматривался критерий потерь активной мощности как в планируемых так и в текущих режимах, так как система управления устройствами компенсации реактивной мощности на основании используемой методики должна сама принимать решения в независимости от сложившейся обстановки в электроэнергетической системе (даже если текущий режим не был запланирован заранее).

Расчетная суммарная мощность КУ, устанавливаемых в сети, согласно условию полной компенсации, составляет $Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 = Q_n$ кВар. В системе электроснабжения были выполнены несколько измерений суммарных потерь активной мощности ΔP , при некоторых наперед заданных значениях мощностей КУ Q_1, Q_2 и реактивной мощности нагрузки Q_n . При измерениях выбирались величины КУ и реактивной мощности нагрузки таким образом, чтобы каждая из них принимала значения: «малая», «средняя» и «большая». Измерения были выполнены измерителем показателей качества электрической энергии Ресурс UF2M в два независимых друг от друга этапа, для формирования, так называемых, обучающей и тестирующей выборки (таблица 1 и 2).

Таблица 1 – Обучающая выборка

Q_n	671	682	671	671	682	671	968	979	979	835	825	815
Q_2	0	0	50	650	600	600	0	50	0	300	350	400
ΔP	2204,3	2249,2	2178,7	2328,0	2312,9	2283,4	3516,3	3507,3	3568,9	2722,4	2676,5	2639,0

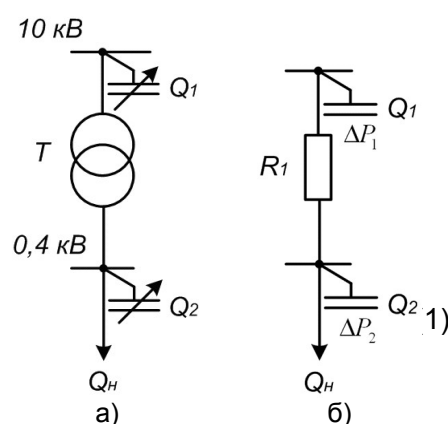


Рисунок 1 – Схема системы электроснабжения (а) и ее схема замещения(б)

Методика выполнения. Решение задачи было разбито на два этапа:

– выявление зависимости потерь активной мощности в сети от мощности устанавливаемого КУ и от мощности реактивной нагрузки $\Delta P(Q_2, Q_n)$ на основе исходных данных;

– нахождение оптимального значения мощностей КУ.

Вначале была сгенерирована система нечеткого логического вывода типа Сугэно из данных (обучающая выборка) с использованием субтрактивной кластеризации. Идея метода заключалась в следующем. Объекты $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ рассматривались как потенциальные центры кластеров. Для каждого объекта $x_k = (x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kp})^T$, представляющего собой точку в p -мерном пространстве признаков ($k = \overline{1, n}$), рассчитывалось значение так называемого потенциала

$$P(x_k) = \sum_{i=1}^n \left[\exp \sum_{j=1}^p \omega_j (x_j - x_{ij})^2 \right], \quad (3)$$

характеризующего плотность расположения других объектов в его окрестности. Здесь ω_j – вес j -той координаты. Чем гуще соседние объекты расположены к данному объекту, тем больше значение его потенциала. Изначально центром первого кластера назначался объект с наибольшим потенциалом. Затем центр кластера, а также близко расположенные к нему объекты исключались из дальнейшего рассмотрения. Значения потенциалов оставшихся объектов пересчитывались, и вновь в качестве центра кластера выбирался объект с максимальным значением потенциала. Итерационная процедура выбора центров кластеров продолжалась до тех пор, пока не были исключены все объекты. При этом результат выполнения рассматривался как исходная система для обучения посредством технологии ANFIS. Экстракция правил из данных выполнялась в два этапа. Вначале, с помощью встроенных функций MATLAB (Fuzzy Logic Toolbox) [9], определялось количество правил и мощности терм-множеств выходных переменных. Затем с помощью метода наименьших квадратов определялась «то-» часть каждого правила. В результате этого была получена система нечеткого логического вывода с базой правил, покрывающих всю предметную область.

Сгенерированная система нечеткого логического вывода, которая идентифицирует представленную данными зависимость $\Delta P(Q_2, Q_n)$, без использования технологии обучения ANFIS плохо отражает действительность, поэтому была выполнена настройка системы нечеткого логического вывода типа Сугэно при помощи ANFIS. Для этого применялся гибридный алгоритм, который использует метод обратного распространения ошибки (метод наискорейшего спуска) для настройки функций принадлежности входных переменных и метод наименьших квадратов для настройки функций принадлежности выхода. Точнее говоря, метод наименьших квадратов использовался для нахождения коэффициентов линейных функций, связывающих входы и выход в каждом правиле.

Обученные системы типа Сугэно и Мамдани не отличаются от рассмотренных в [9]. Система типа Сугэно имеет два входа (Q_2 и Q_n), а выход ($f(u) = \Delta P$). Система типа Мамдани основана на трех входах (ΔP , Q_2 и Q_n) и одном выходе ΔQ_2 .

Функции принадлежности каждого терма – гауссовы кривые

$$\eta(x) = \exp \left(-\frac{(x-b)^2}{2c^2} \right), \quad (4)$$

где b – координата максимума функции принадлежности;

c – коэффициент концентрации функции принадлежности.

Полученная база знаний состоит из четырех правил представленных в таблице 3.

Для второго этапа поиска оптимальных величин мощностей КУ наиболее подходит система типа Мамдани. Входными переменными назначены потери активной мощности в сети (находятся в зависимости от двух других переменных по описанной выше системе Сугэно), реактивная мощность КУ узла 2 и реактивная мощность нагрузки; выходной переменной – изменение реактивной мощности КУ узла 2.

Правила базы знаний составлялись на основе исходных данных: центры кластеров обу-

Таблица 2 – Тестирующая выборка

Q_n	950	979	671	682
Q_2	550	500	250	300
ΔP	3112,20	3215,95	2134,87	2175,73

чающей выборки I (таблица 4) и данные тестирующей выборки II (таблица 4). Для успешного достижения цели также использованы правила для выбора правильной стратегии управления, которые основываются на том, что при «малых» потерях «не изменять» мощности установленного КУ III (таблица 4).

Таблица 3 – Правила и их весовые коэффициенты

№	Правило	Вес
1	<i>if (Q2 is Q2mf1) and (Qn is Qnmf1) then (ΔP is ΔPmf1)</i>	1,0
2	<i>if (Q2 is Q2mf2) and (Qn is Qnmf2) then (ΔP is ΔPmf2)</i>	1,0
3	<i>if (Q2 is Q2mf3) and (Qn is Qnmf3) then (ΔP is ΔPmf3)</i>	1,0
4	<i>if (Q2 is Q2mf4) and (Qn is Qnmf4) then (ΔP is ΔPmf4)</i>	1,0

Таблица 4 – Правила базы знаний

	I				II				III								
a*	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
b*	1	1	3	2	2	3	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3
c*	1	3	2	2	3	4	2	3	1	1	1	2	2	2	3	3	3
d*	4	2	4	4	2	3	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
e*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
f*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

*-a,b,c-порядковые номера терм соответственно первой (ΔP), второй (Q₂) и третьей (Q_n) входной переменной; d-порядковый номер термы выходной переменной (ΔQ₂); e-весовые коэффициенты правил; f-логические связки между переменными внутри правил (1 соответствует логической операции И).

Обсуждение результатов. Процесс нахождения оптимальных величин мощностей КУ сводится к выбору стратегии поэтапного изменения их реактивной мощности с первоначально заданной точностью коррекции конечного результата.

В качестве примера, для сопоставления результатов управления рассматривался упрощенный метод решения, основанный на составлении схемы замещения (рисунок 1б).

Критериальная функция имеет вид

$$P(Q_1, Q_2, Q_n) = \frac{R_1(Q_n - Q_2)^2}{U^2} + \Delta P_1 Q_1 + \Delta P_2 Q_2, \quad (5)$$

где R_1 – активное сопротивление трансформатора;

Q_n – реактивная мощность нагрузки;

Q_1, Q_2 – реактивные мощности КУ;

$\Delta P_1, \Delta P_2$ – удельные потери активной мощности в первом и втором КУ соответственно.

Используя условие полной компенсации, получим

$$P(Q_2, Q_n) = \frac{R_1(Q_n - Q_2)^2}{U^2} + \Delta P_1(Q_n - Q_2) + \Delta P_2 Q_2. \quad (6)$$

Дифференцируя полученную критериальную функцию (6), имея ввиду, что для рассматриваемых отрезков времени $Q_n = \text{Const}$, получим уравнение

$$\frac{2R_1}{U^2}(Q_n - Q_2) + \Delta P_2 - \Delta P_1 = 0. \quad (7)$$

Выражение (7) позволяет установить зависимость мощности КУ Q_2 от величины нагрузки Q_n

$$Q_2 = \frac{U^2(\Delta P_1 - \Delta P_2)}{2R_1} + Q_n. \quad (8)$$

Для решения задачи оптимизации на основании упрощенной схемы замещения должны быть известны справочные данные трансформатора и устройств компенсации реактивной мощности, при рассмотрении уточненной модели – кроме того конструктивные данные трансформатора и опытные кривые «удельных потерь» в стали (при использовании табличного задания функции потерь). Если применяется аппарат нечеткой логики, то достаточны лишь данные обучающей и тестирующей выборки (таблица 1 и 2).

В качестве средств управления режимом используются статические вентильные источ-

ники реактивной мощности, в которых возможно осуществление регулирования выдаваемой реактивной мощности использованием нерегулируемой батареей статических конденсаторов и включенного параллельно или последовательно с ней регулируемого реактора. Плавность регулирования в рабочем диапазоне изменения реактивной мощности достигается с помощью тиристорного блока путем изменения угла коммутации тиристорного моста. Управление мощностью реакторов может осуществляться также либо с помощью встречно – параллельно соединенных управляемых вентилях, либо путем изменения продольного или поперечного подмагничивания. Следует попутно отметить, что энергия магнитного поля реакторов может быть использована для создания статических источников реактивной мощности, работающих в режиме генерации реактивной мощности. Для этого необходимо дополнительное устройство, способное направлять запасенную энергию в ту фазу и в те моменты, когда в ней проходит опережающий ток. Для обеспечения такого режима применяется искусственная коммутация вентилях.

Рассмотрим случай, когда обучающей выборке можно сопоставить расчетную схему с усредненными параметрами, полученными методом наименьших квадратов. Заметим, что задачи математической регрессии имеют смысл приближения выборки данных некоторой функцией, определенным образом минимизирующей совокупность ошибок. Регрессия сводится к подбору неизвестных коэффициентов, определяющих аналитическую зависимость. В силу производимого действия большинство задач регрессии являются частным случаем более общей проблемы сглаживания данных. Как правило, регрессия очень эффективна, когда заранее известен (или хорошо угадывается) закон распределения данных.

Самый простой и наиболее часто используемый вид регрессии – линейная. Приближение данных осуществляется линейной функцией. На координатной плоскости линейная функция, как известно, представляется прямой линией. Еще линейную регрессию часто называют методом наименьших квадратов, поскольку коэффициенты вычисляются из условия минимизации суммы квадратов ошибок. Общеизвестно, что регрессия, реализованная одним полиномом (полиномиальная регрессия) более эффективна, чем линейная (для приведенного примера – двумерная регрессия массива данных, в качестве которых выступает обучающая выборка). По аналогии с одномерной полиномиальной регрессией и двумерной интерполяцией, метод позволяет приблизить множество точек поверхностью, которая определяется многомерной полиномиальной зависимостью.

Исследование зависимости $P(Q_2, Q_n)$ показало, что двумерная регрессия (при степени полинома $k = 1$) не позволяет на основании данных обучающей выборки однозначно получить оптимальное решение (зависимость Q_2 от Q_n), так как при любых фиксированных значениях Q_n , не существует минимума потерь активной мощности P , а следовательно использование расчетной схемы с усредненными параметрами в данном случае становится невозможной. Иной результат получается при использовании двумерной регрессии при степени полинома $k = 2$, однако использование полиномов второй степени значительно усложняет процесс решения задачи. Дальнейшее повышение степени полинома регрессии k показывает незначительные улучшения решения, но при этом резко возрастает сложность решения задачи.

Сравнительный анализ различных методов получения оптимальных решений в задаче приведенного примера представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Минимальные значения потерь активной мощности, Вт

Q_n , кВар	Двумерная регрессия, $k = 2$	Упрощенная модель	Двумерная регрессия, $k = 3$	Нечеткая логика	Уточненная модель
500	1536,331	1536,325	1536,377	1536,600	1536,763
600	1886,325	1886,325	1886,393	1887,957	1887,137
671	2134,825	2134,825	2134,840	2134,827	2134,825
682	2173,325	2173,325	2173,340	2173,340	2173,329
815	2638,825	2638,825	2638,927	2640,483	2638,886
825	2673,825	2673,825	2673,847	2674,853	2673,874
835	2708,825	2708,825	2708,831	2709,719	2708,874
900	2936,328	2936,325	2936,372	2936,434	2936,327
968	3174,325	3174,325	3174,809	3174,327	3174,360
979	3212,825	3212,825	3212,858	3212,858	3213,100

Рассмотрим случай, когда еще одним параметром (кроме генерации реактивной мощности КУ), обеспечивающим минимальные потери, является момент включения (и выключения) второго (параллельного) трансформатора. При этом отразим более реальную ситуацию, а именно, введем в рассмотрение активную составляющую нагрузки (двухмерная задача), реактивные сопротивления X и проводимости B , а также активные проводимости G из схем замещения трансформаторов (рисунок 2). В этом случае существует возможность учесть индуктивности в схеме замещения трансформаторов и определить их роль в потреблении реактивной мощности, а также потери мощности на активных сопротивлениях и проводимостях.

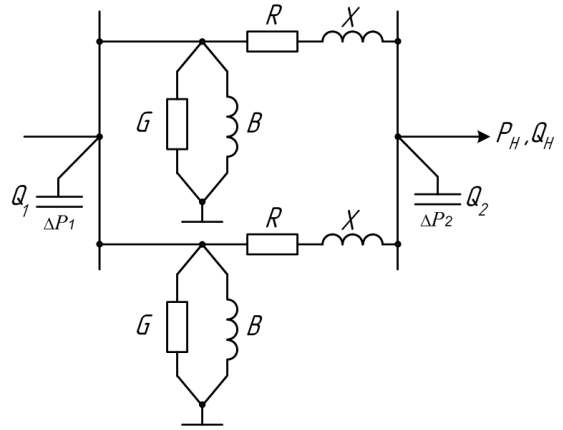


Рисунок 2 – Схема замещения системы электроснабжения с параллельной работой трансформаторов

В данном случае при формировании системы типа Сугэно использовалось три входных переменных: реактивная мощность второго КУ Q_2 , активная P_n и реактивная Q_n составляющие нагрузки; и одна выходная – суммарные потери активной мощности ΔP в системе. В системе типа Мамдани были применены уже четыре входные переменные: реактивная мощность второго КУ Q_2 , активная P_n и реактивная Q_n составляющие нагрузки, суммарные потери активной мощности ΔP в системе, полученные при использовании системы типа Сугэно; и одна выходная – суммарные потери активной мощности ΔP в системе. Особенностью системы нечеткого логического вывода в данном случае является исследование работы как одиночного трансформатора, так и при параллельной работе двух трансформаторов. Однако структура решения от этого не меняется: система, используя все те же алгоритмы субтрактивной кластеризации и ANFIS-обучения, сама определяет минимальные потери в сети и на основании этого определяет не только стратегию управления КУ, но и количество используемых в текущий момент времени трансформаторов. Решение данной задачи изображено на рисунок 3.

Анализируя решение данной задачи (рисунок 3), полученное методом нечеткой логики, на поверхности $Q_2 (P_n, Q_n)$ (для удобства – на ее проекции) можно выделить характерные линии. Выделение системой нечеткого логического вывода линии 3, можно объяснить тем, что наибольший коэффициент полезного действия трансформатора (а следовательно и минимум потерь активной мощности в нем) достигается при коэффициенте нагрузки приблизительно равной 0,45-0,5, то есть КПД имеет максимальное значение при такой нагрузке, когда магнитные потери в трансформаторе равны электрическим потерям – это соответствует действительности. Однако использование одного трансформатора в области меньших активных мощностей и больших реактивных, ограниченных линией 3 невозможна ввиду ограниченной мощности трансформатора. Это обстоятельство система нечеткого логического вывода обозначила линией 2. Линия 1 соответствует максимальной полной мощности, на которой возможна эксплуатация рассмотренной электрической системы.

Отметим, что установить однозначную зависимость погрешности решения от попадания точек обучающей выборки, близких к точному решению не представляется возможным. Не важно насколько близки или далеки от решения были выбраны точки при формировании обучающей выборки, важно, чтобы множество точек покрывало, насколько это возможно, всю область решений (то есть область величин, охватывающих эксплуатационный режим электроэнергетической системы).

Сравним результаты решений, полученные традиционным (рассчитанным в таблице 5) и методом нечеткой логики, рассмотренным на данном примере. Погрешность определения величины реактивной мощности второго КУ в зависимости от числа кластеров приведена в таблице 6. Погрешность определялась путем сравнения поверхностей, полученных методом нечеткой логики (рисунок 3) и традиционным методом (рассчитанным в таблице 5) в местах наибольшего отклонения поверхностей и считалась относительно результатов традиционного метода, точное решение которого определялось аналитически.

Из таблицы 6 видно, что уже при числе кластеров $c = 4$ достигается приемлемая точ-

ность решения методом нечеткой логики и дальнейшее увеличение числа кластеров не приводит к значительным улучшениям модели, в то время как объем вычислений резко увеличивается.

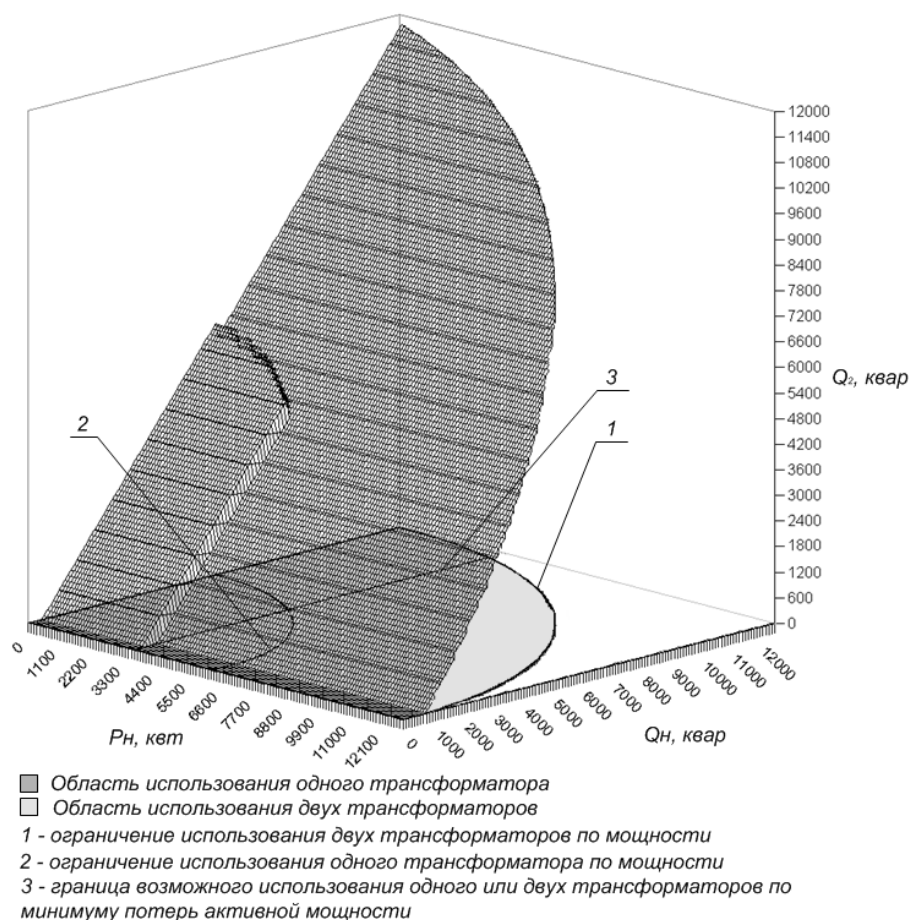


Рисунок 3 – Зависимость $Q_2(P_n, Q_n)$

Известно, что каждая отрасль промышленности имеет свои характерные и годовые графики нагрузок, определяемые технологическим процессом производства. Однако следует иметь в виду, что вообще графики нагрузок предприятия не являются стабильными, а претерпевают постоянные изменения в связи с изменением технологического процесса, внедрением новых прогрессивных производственных процессов, повышением использования оборудования за счет интенсификации и автоматизации производственных процессов, изменением удельного потребления электроэнергии на единицу продукции и т.п. [10]. Рассмотрим вышеприведенный пример при условии изменения графика нагрузки (рисунок 4).

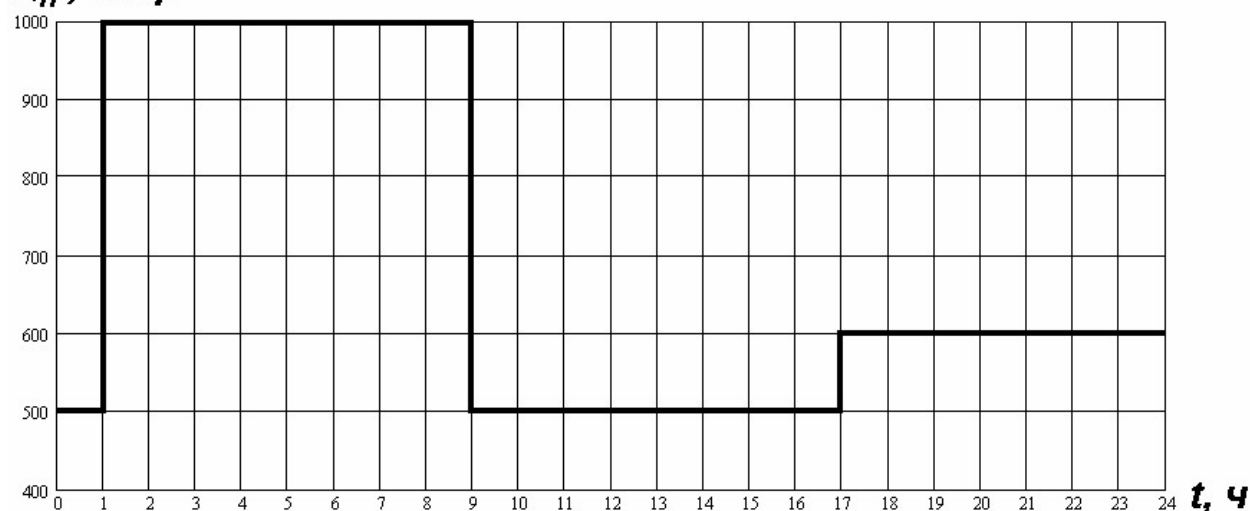
На рисунке приведены три способа решения: методом нечеткой логики, упрощенным методом по схеме, показанной на рисунке 1б, и уточненным традиционным методом. Кроме того, авторами был рассмотрен метод, основанный на составлении уравнений в частных производных.

Выводы: 1 Нечеткая логика открывает широкие возможности решения оптимизационных задач методами, присущими когда-то исключительно только интеллекту. Независимо от сложности системы, руководствуясь определенными нечеткими правилами и полученными данными (в виде обучающей и тестирующей выборки), система управления может выполнять свои функции с указанной степенью точности. При этом создание нечеткой модели происходит без привлечения сложнейшего математического аппарата, а описание – на «естественном» языке.

Таблица 6 – Наибольшая погрешность решения в сравнении с традиционным методом

Число кластеров	Наибольшая погрешность решения, %
4	4,6
6	4,5
8	4,4
12	4,4

Q_H , квар



Q_2 , квар

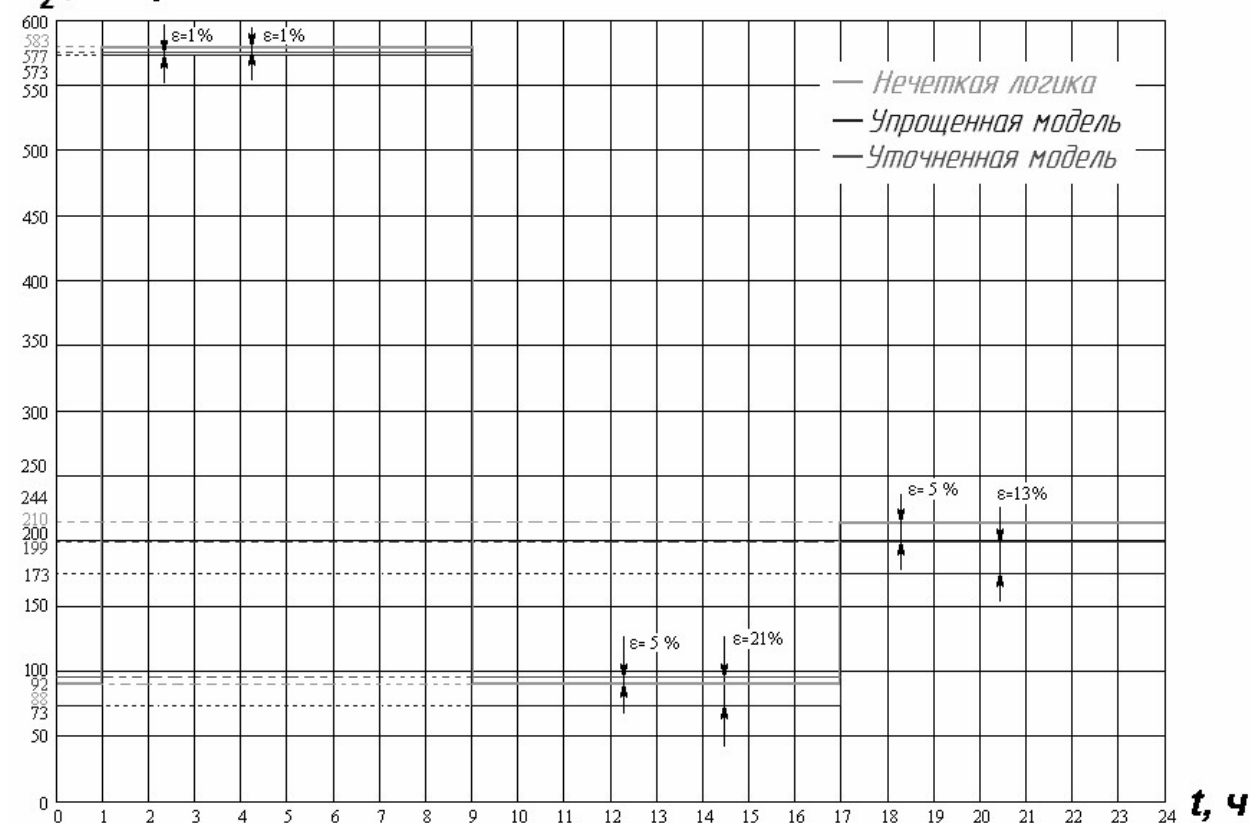


Рисунок 4 – Сравнительный анализ различных систем управления

2 Приведенные результаты свидетельствуют о перспективном применении фазитехнологии в электроэнергетике. Однако необходимы дальнейшие исследования поведения системы управления, основанной на нечеткой логике, в системах электроснабжения с присутствием несинусоидальности, несимметрии, импульсных перенапряжений и других нарушений качества электроэнергии. Окончательные выводы можно будет сделать при решении задачи многоцелевой оптимизации, с учетом вклада каждого показателя качества электрической энергии [11,12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Жежеленко, И.В. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик электрических нагрузок потребителей / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко, В.П. Степанов. -М.: Энергоатомиздат, 1990.

- 2 Поспелов, Д.А. Ситуационное управление / Д.А. Поспелов. -М.: Наука, 1986.
- 3 Федотов, Е.В. Компенсирующие устройства в сети предприятия. Расчет эффективности / Е.В. Федотов // Новости электротехники. -2001. -№5(11).
- 4 Пантелеев, В.И. Управление режимами реактивной мощности и напряжения промышленного предприятия / В.И. Пантелеев, А.Н. Филатов. -Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005.
- 5 Заде, Л. Лингвистическая переменная / Л. Заде. -М.: Физматгиз, 1972.
- 6 Манусов, В.З. Применение нечеткой логики для согласования режимов работы ветроэнергетической установки с графиком электрической нагрузки / В.З. Манусов, А.В. Седельников // Изв. Томск. политехн. ун-та. -2005. -№5.
- 7 Bijwe, P.R. Fuzzy power flow solutions with reactive limits and multiple uncertainties / P.R. Bijwe, M. Hanmandlu, V.N. Pande // Elec. Power. Syst. Res. -2005. -№1/3.
- 8 Mielczarski, W. Fuzzy logic techniques in power systems / W. Mielczarski. -Heidelberg: Physica-Verlag, 1998. -456 p.
- 9 Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MatLab и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. -СПб.: БХВ-Петербург, 2003.
- 10 Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети / А.А. Федоров [и др.]; под ред. А.А. Федорова. -М.: Энергия, 1980.
- 11 Лешинская, Т.Б. Алгоритм решения многокритериальных задач оптимизации с неопределенной информацией на примере выбора оптимальной мощности глубокого ввода высокого напряжения / Т.Б. Лешинская, А.А. Глазунов, Г.В. Шведов // Электричество. -2004. -№10.
- 12 Чистяков, Г.Н. Применение нечеткой логики при оптимизации реактивных нагрузок систем электроснабжения / Г.Н. Чистяков, Р.Ю. Беляев // Электрика. -2006. -№12.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** нечеткая логика, система электроснабжения, компенсирующее устройство
- СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Чистяков Геннадий Николаевич, канд. техн. наук, доцент Саяно-Шушенский филиал ФГАОУ ВПО «СФУ»
Беляев Роман Юрьевич, канд. техн. наук, старший преподаватель ХТИ – филиал ФГАОУ ВПО «СФУ»
- ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 655619, Республика Хакасия, г. Саяногорск, пгт. Черемушки, 46, а/я 83, Саяно-Шушенский филиал ФГАОУ ВПО «СФУ»
655017, Республика Хакасия, г. Абакан. ул. Щетинкина, 27, ХТИ – филиал ФГАОУ ВПО «СФУ»

УЧЕТ ФАКТИЧЕСКОЙ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМОЙ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ

ФГОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»

Г.Я. Иванов, А.Ю. Кузнецов

REGARDLESS OF ACTUAL NONSINUSOIDAL INVERTER OUTPUT VOLTAGE FREQUENCY THE ENERGY REGIME OF FREQUENCY-CONTROLLED INDUCTION MACHINES

«Novosibirsk state agrarian university»

G.Ya. Ivanov, A.Yu. Kuznetsov

In article are considered questions to need of the account actual anharmonicity output voltage on electromechanical processes frequency-operated electric motor, getting feeding from converters of the frequency with width-pulse modulation.

Keywords: voltage, frequency, mode

Рассмотрены вопросы необходимости учета фактической несинусоидальности выходного напряжения на электромеханические процессы частотно-управляемого электродвигателя, получающего питание от преобразователей частоты с широтно-импульсной модуляцией.

При создании моделей, описывающих текущие значения векторов статорного напряжения асинхронной машины обычно используются исходные допущения:

- статорные обмотки асинхронной двигателя, получающего питание от трехфазного преобразователей частоты с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), принимаются симметричными и соединенными в «звезду» без нулевого провода;
- силовые ключи схем преобразователей частоты с широтно-импульсной модуляцией

принимаются идеальными;

– питающие преобразователь частоты фазные напряжения принимаются симметричными и синусоидальными, а их сумма в любой момент времени равна нулю [1].

Используемые допущения для вектора статорного напряжения упрощают рассмотрение и анализ математических соотношений связывающих модуль Y и аргумент θ_Y с фазными значениями Y_A, Y_B, Y_C [2]:

$$Y = \sqrt{\frac{2}{3}(Y_A^2 + Y_B^2 + Y_C^2)};$$

$$\theta_Y = \arctg\left[\frac{(Y_B - Y_C)}{\sqrt{3}Y_A}\right] + \frac{\pi(1 - \text{sign } Y_A)}{2} = (\text{sign } Y_A) \arcsin\left[\frac{(Y_B - Y_C)}{\sqrt{3}Y}\right] + \frac{\pi(1 - \text{sign } Y_A)}{2};$$

$$Y_A = Y \cos \theta_Y; Y_B = Y \cos\left(\theta_Y - \frac{2\pi}{3}\right); Y_C = Y \cos\left(\theta_Y - \frac{4\pi}{3}\right).$$
(1)

Современная технология серийного изготовления асинхронных трехфазных электродвигателей позволяет выпускать изделия с отклонениями для активных и индуктивных сопротивлений различных фаз не более $\pm 1\%$.

С созданием биполярных транзисторов с изолированным затвором (модулей IGBT, GTO, IGCT) и интегральных схем управления ими, область применения асинхронного электропривода (ЭП) с транзисторными преобразователями стала почти неограниченной и тем более представляет интерес для исследования оптимизация энергетических процессов в системе регулирования.

Быстродействующие силовые ключи в транзисторных преобразователях приближены к идеальным из-за малых фронтов задержки их переключения в сравнении с фактическим временем проводящего и закрытого состояний ключей при ШИМ и малых значений обратных токов.

При инженерных расчетах потерь мощности преобразователя и электропривода в целом, влияние переходного активного сопротивления силовых ключей при их открытом состоянии, а также несимметричность и несинусоидальность питающих фазных напряжений оказывает существенное влияние [3], тем более, что синусоидальные и симметричные питающие фазные напряжения на практике характерны только для высокостабильных промышленных трехфазных сетей.

В статических преобразователях частоты выполненных на основе автономный инвертор напряжений с широтно-импульсной модуляцией (АИН-ШИМ) для осуществления двухстороннего обмена энергией с трехфазной промышленной питающей сетью возможно применение так называемого активного выпрямителя показанного на рисунке 1, выполненного на полностью управляемых силовых ключах и обеспечивающего не только двухсторонний обмен энергии с питающей сетью, но и формирование входного тока практически синусоидальной формы и регулирование на заданном уровне коэффициента мощности (в том числе близком к единице).

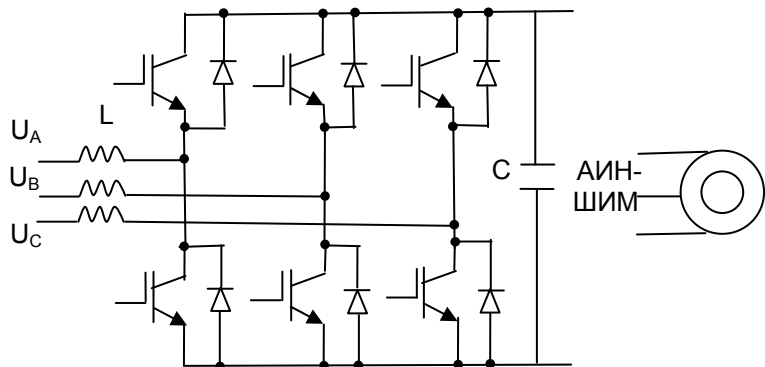


Рисунок 1 – Схема статического преобразователя частоты на основе АИН-ШИМ с активным выпрямителем

Для схемы рисунок 1, модули создаваемых векторов статорного напряжения асинхронной машины рассчитываются из (1) в виде [4]

$$U_s = \sqrt{\frac{2}{3}(U_{sA}^2 + U_{sB}^2 + U_{sC}^2)} = \sqrt{\frac{2}{3}\left(\left(\pm \frac{U_d}{3}\right)^2 + \left(\pm \frac{U_d}{3}\right)^2 + \left(\pm \frac{2U_d}{3}\right)^2\right)} = \frac{2U_d}{3},$$
(2)

где U_d – входное напряжение автономного инвертора напряжения.

В преобразователях частоты с АИН-ШИМ используются для электропроводов малой мощности с редкими режимами торможения, на практике реализуется только односторонний режим потребления энергии из трехфазной питающей сети, осуществляемого с помощью

неуправляемого выпрямителя, дополненного на диодах V_1 - V_6 и приведенного на рисунок 2.

В таких преобразователях частоты энергия, поступающая в конденсатор с фильтра при торможении асинхронной машины рассеивается на тормозном резисторе, подключенном параллельно входу инвертора.

Трехфазный активный выпрямитель формирует на своем выходе пульсирующее напряжение U_d , которое по своему текущему значению и форме соответствует выпрямленному напряжению трехфазной мостовой схемы неуправляемого выпрямителя и описывается соотношениями [5]:

$$U_d = \sqrt{3}U_{\phi m} \cos\left(\theta_{\phi} - \frac{\pi}{6}\right); \theta_{\phi} = \omega_{\phi}t - \frac{\pi}{3}\left[3\omega_{\phi} \frac{t}{\pi}\right], \quad (3)$$

где $U_{\phi m}$, ω_{ϕ} – соответственно амплитуда и угловая частота синусоидальных фазных напряжений U_A , U_B , U_C ;

θ_{ϕ} – тригонометрический аргумент, изменяющийся от времени t с угловой частотой ω_{ϕ} .

Приведенные схемы статических преобразователей учитывают возможные варианты обмена энергией с питающей сетью путем подстановки в (2) фактических значений входных питающих напряжений U_d , что позволяет учесть воздействие на асинхронную машину не только основную гармонику из спектра выходных напряжений преобразователя, а в полной мере фактическую синусоидальность формы выходных напряжений.

Для учета активных сопротивлений силовых ключей в открытом состоянии, при расчете амплитуды вектора статорного напряжения, достаточно в приведенной схеме уменьшить входные питающие напряжения преобразователей U_d на фактические значения падений напряжения на открытых силовых ключах. А, чтобы учесть возможную фактическую несимметрию питающих фазных напряжений, достаточно осуществить расчет модуля и аргумента вектора статорного напряжения через текущие мгновенные значения фазных напряжений питающей сети непосредственно из (1).

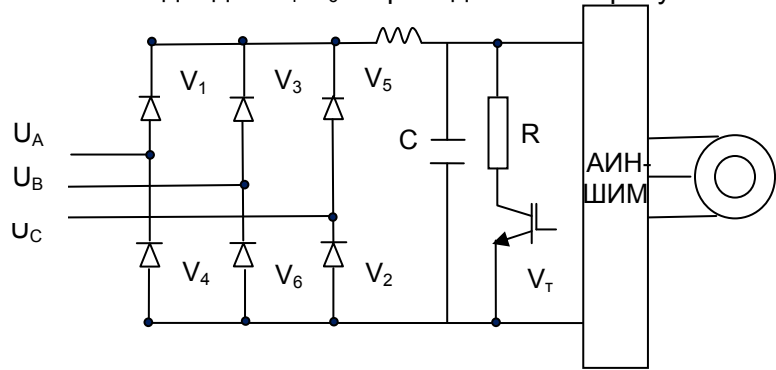


Рисунок 2 – Схема статического преобразователя частоты на основе АИН-ШИМ с неуправляемым выпрямителем

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шрейнер, Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р.Т. Шрейдер. -Екатеринбург: УО РАН, 2000. -653 с.
- 2 Эпштейн, И.И. Автоматизированный электропривод переменного тока / И.И. Эпштейн. -М.: Энергоатомиздат, 1982. -192 с.
- 3 Радин, В.И. Электрические машины. Асинхронные машины / В.И. Радин, Д.Э. Брускин, А.Е. Зарохович; под ред. И.П. Копылова. -М.: Высш. шк., 1988. -328 с.
- 4 Волков, А.В. Анализ стационарных режимов асинхронного двигателя при питании от автономного инвертора напряжения с широтно-импульсным способом регулирования выходного напряжения / А.В. Волков // Техн. электродинамика. -1998. -№6. -С. 42-47.
- 5 Иванов, Г.Я. Математическое моделирование процесса векторного управления асинхронным двигателем / Г.Я. Иванов, Б.В. Малоземов, А.Ю. Кузнецов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: сб. науч. тр. / ГНУ ВИЭСХ. -М., 2006. -С. 380-387.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: напряжение, частота, режим

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Иванов Геннадий Яковлевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАУ»
Кузнецов Андрей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, ФГОУ ВПО «НГАУ»

ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОДНЫХ СИСТЕМ МОБИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

ФГОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»

В.Г. Ляпин

DIAGNOSTICS OF ELECTRODE SYSTEMS OF MOBILE ELECTROTECHNOLOGICAL INSTALLATIONS
«Novosibirsk state agrarian university»
V.G. Lyapin

For diagnostics of electrode systems of mobile electrotechnological installations it is offered to use matrix structures.

Keywords: diagnostics, electrotechnological process, electrode system

Для диагностики электродных систем мобильных электротехнологических установок предлагается использовать матричные структуры.

Известно, что уникальные свойства электромагнитных полей (ЭМП) лежат в основе различных методов обработки, диагностики, удержания и транспортировки как растительных объектов (РО), так и электродных систем (ЭС), с их использованием создаются аналитические приборы и технологические системы для фундаментальных и прикладных исследований. В плане развития электротехнологических установок (ЭТУ) [1-3] актуальной является задача изучения закономерностей поведения и свойств РО и ЭС в ЭМП и разработка на их основе новых эффективных методов и устройств анализа и обработки растений.

К основным параметрам мобильных ЭТУ относятся (рисунок 1):

- ширина захвата B , м;
- установленная мощность ИЭЭ $S_{ИЭЭ}$, кВА;
- установленная и используемая мощности ЭП $S_{ЭП}$ и $S_{ЭПл}$, кВА;
- электротехнологическое (рабочее) напряжение U_m , кВ;
- сила тока в электроде $I_э$, А;
- конфигурация и износ электродов $d_э$, $b_э$, $h_э$ и $y_{эл}$, мм;
- коэффициент мощности $\cos \varphi$;
- электрический КПД $\eta_э$;
- активное и реактивное сопротивления сети ЭП-ЭС r_c и x_c , мОм; ЭС- $r_{эс}$ и $x_{эс}$, кОм; БСДУ- $r_{ду}$ и $x_{ду}$, Ом;
- расход электроэнергии W_{yo} , кВт·ч/га;
- производительность Π , га/ч;
- электротехнологический критерий (электрическое повреждение растений) $\kappa_{эм}$, %.

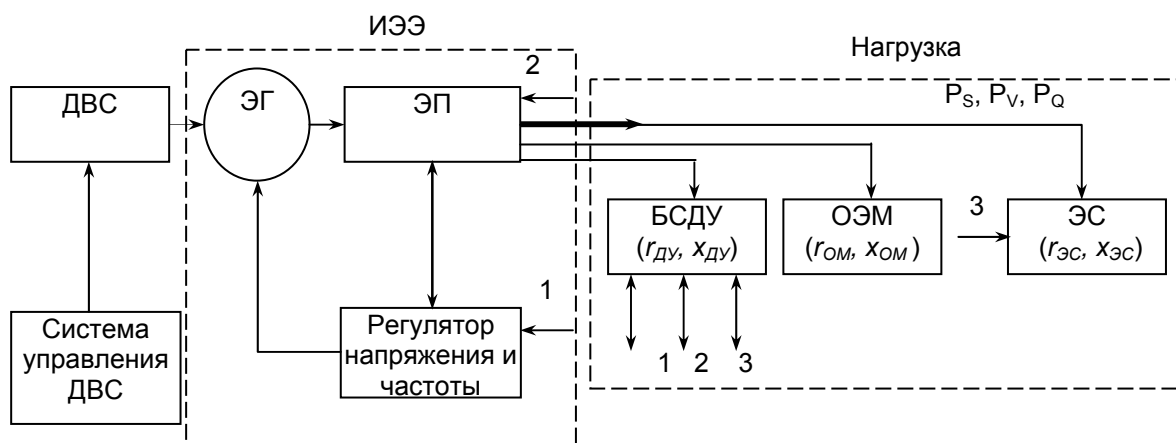


Рисунок 1 – Структурная схема ЭТУ: ДВС-двигатель внутреннего сгорания; ИЭЭ-источник электрической энергии; ЭГ-электрический генератор; ЭП-электропреобразователь; БСДУ-бортовая система диагностики и управления; ОЭМ-отбор электрической мощности; ЭС-электродная система

Проблема распознавания РО и оценки степени их повреждения при электротехнологической обработке решается автоматизированными ЭС с аппаратной и программной оптимизацией. Для повышения эффективности диагностики растительности можно использовать метод регистрации ответной реакции тканей по значению тока, стимулированного внешним высокочастотным потенциалом. Такой подход позволяет увеличить скорость обработки данных, использовать выносные электроды, производить длительный мониторинг, применять низковольтный воздействующий потенциал. При этом степень проявления импеданса в первую очередь связана с особенностями состояния клеточной мембраны, наружной (защитной) ткани РО и поверхности электродов.

Эксплуатационные свойства электродов и отдельных деталей ЭС ЭТУ во многом определяются способностью конструкционного или инструментального материала сопротивляться внешним воздействиям, среди которых значительная роль принадлежит изнашиванию. Изнашивание ЭС ЭТУ является сложным процессом, и специфика модифицированного покрытия поверхности электродов заключается в формировании особого состояния поверхностных слоев электродного материала, отличного от его объемного (исходного) состояния. Электрическая эрозия электродов ЭТУ представляет комплексный процесс разрушения, включающий: хрупкое микровыкрашивание за счет термических напряжений, превышающих предел прочности материала; оплавление и взрывообразный разлет жидкофазного материала, сопровождающийся испарением и ионизацией. В зависимости от конкретных нагрузочных, скоростных и температурных условий ЭС при обработке растительности и природы сформированного покрытия электродов, эти процессы имеют свои особенности. В настоящий момент отсутствуют обоснованные теории, позволяющие рассматривать модификацию поверхностного покрытия электродов (состав, структуру и свойства) в зависимости от параметров и условий процесса обработки. При этом не выяснены вопросы о влиянии на модификацию поверхностных слоев импульсных тепловых, электромагнитных и механических нагрузок, возникающих при электрической обработке РО, и состава материала, переносимого с электрода в межэлектродную среду.

Учитывая, что I_3 зависит от U_m и степени проявления импеданса в поверхностях сложной формы (электродов, наружных тканей, клеточных мембран), то для оперативной диагностики электротехнологических процессов и ЭС необходимы учет большого количества контролируемых параметров и использование цифровой и микропроцессорной техники. Это дает возможность сопоставления эталонного состояния объекта с диагностируемым. В качестве диагностируемого и обрабатываемого микропроцессором объекта можно использовать матричные структуры. Для диагностики износа электродов y_{3u} в одном из состояний, например режима короткого замыкания, при низком U_m фиксируется вектор $\bar{I}_3$. В этом случае

$$\underline{Z} = \bar{U}_m / \bar{I}_3,$$

и подход к диагностике предполагает измерение вектора тока $\bar{I}_3 = \bar{U}_m / \underline{Z}$ и сравнение его с некоторым эталонным вектором $\bar{I}_E$. Ненулевая разность

$$\bar{I}_E = \bar{U}_m / \underline{Z},$$

свидетельствует о наличии отклонений «рабочих органов» от эталонного образца. При этом будет установлен факт износа или повреждений, но не место. Если в $\underline{Z} = \bar{U}_m / \bar{I}_3$ измерить элементы матрицы $1/\underline{Z}$ и сравнить их с соответствующими элементами эталонной матрицы $1/\underline{Z}_E$, то можно установить поврежденный элемент ЭС.

Актуальность работы определяется ее направленностью на создание теоретических, конструкторско-технологических и экспериментальных предпосылок для разработки компактных с невысокой стоимостью ЭС, как анализаторов при диагностике РО, так и «рабочих органов» электрического повреждения растительности. Приведенный анализ позволяет сделать вывод о возможности диагностирования растительности в режиме реального времени по степени их электрического повреждения и необходимости: разработки приборных средств, аппаратуры и устройств для исследования влияния компонентов ЭС и наблюдения за структурно-функциональным состоянием РО в режиме реального времени; выявления электропроводящих особенностей биологических тканей в областях частот проявления эффектов импеданса, связанных с динамическим изменением структурно-функционального состояния РО. Для решения этих вопросов необходима разработка комплексов позволяющих:

исследовать спектральные особенности комплексной проводимости биологических тканей в выделенном частотном диапазоне; производить регистрацию стимулированных внешним потенциалом высокочастотных токов (10 -6-10 -4 А) в выделенном частотном диапазоне, протекающих через РО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ляпин, В.Г. Оборудование и энергосберегающая электротехнология борьбы с нежелательной растительностью / В.Г. Ляпин. –Новосибирск: Новосиб. гос. аграр. ун-т., 2000. -106 с.

2 Ляпин, В.Г. Оборудование и энергосберегающая электротехнология борьбы с нежелательной растительностью в приложениях / В.Г. Ляпин. –Новосибирск: Новосиб. гос. аграр. ун-т., 2000. -240 с.

3 Ляпин, В.Г. Электроды для электротехнологических применений и измерения свойств растительных объектов / В.Г. Ляпин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№2. -С. 308-312.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: диагностика, электротехнологический процесс, электродная система
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Ляпин Виктор Григорьевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, ФГОУ ВПО «НГАУ»

ПРОЦЕССЫ ПУСКА И ТОРМОЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПРИ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ НАГРУЗКЕ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
 ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Г.М. Симаков, М.А. Марченко

PROCESSES OF START-UP AND BRAKING ASYNCHRONOUS THE ELECTRIC DRIVE WITH FREQUENCY CONTROL AT FAN-DRIVEN, TO LOADING

«Novosibirsk state academy of water transport»
 «Novosibirsk state technical university»

G.M. Simakov, M.A. Marchenko

Dynamic modes of the electric drive are considered and their comparison is spent at different ways of construction of the electric drive with fan-driven loading.

Keywords: the electric drive, the dynamic moment, the mechanical characteristic

Рассмотрены динамические режимы электропривода и проведено их сравнение при разных способах построения электропривода с вентиляторной нагрузкой.

Электроприводы турбомеханизмов (насосов, вентиляторов, воздуходувок) потребляют около 25% вырабатываемой электроэнергии и в подавляющем большинстве являются нерегулируемыми.[2] Это направление является одним из приоритетных для применения асинхронного регулируемого электропривода.

Вентиляторы занимают второе место после насосов по распространению в промышленности и в отличие от других турбомеханизмов машины этого типа всегда работают на сеть без противодействия. По этой причине объект регулирования имеет специфический вид механической характеристики, получившей название вентиляторной (рисунок 1)

$$M = k_m \omega^2, \quad (1)$$

где k_m – коэффициент пропорциональности между скоростью вращения и моментом нагрузки.

Еще одной характерной особенностью этих машин является большой момент инерции, превышающий на порядок и выше момент инерции электродвигателя.

Для таких механизмов, особенно мощных, важным вопросом надежной работы является формирование пуско-тормозных режимов работы электропривода. Наиболее рациональным режимом пуска турбомеханизмов является такой пуск, при котором скорость меняется по линейному закону [1]. Это возможно обеспечить поддержанием в процессе пуска и в процес-

се торможения динамического момента постоянным. Электропривод турбомеханизмов отличается тем, что требуемый при пуске динамический момент не превышает 50% от номинального момента двигателя.

Если регулируемый асинхронный электропривод строится как система с векторным управлением, то электропривод имеет как правило два контура регулирования: контур регулирования тока(момента) и контур регулирования скорости.

В этом случае обеспечить постоянство динамического момента может следующая система автоматизированного электропривода, показанная на рисунке 2.

Звено насыщения, стоящее в тракте управления задает динамический момент двигателя. Звено положительной обратной связи имеет нелинейную параболическую характеристику. Тем самым обеспечивается вне зависимости от скорости постоянство динамического момента в процессе разгона электропривода. На рисунке 3 приведена структурная схема такого электропривода.

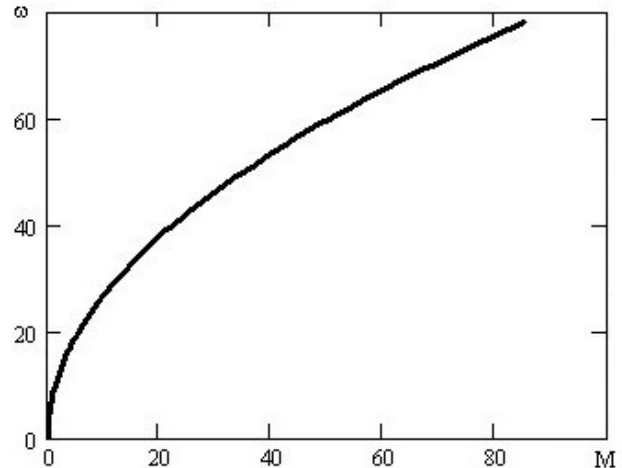


Рисунок 1 – Вентиляторная характеристика

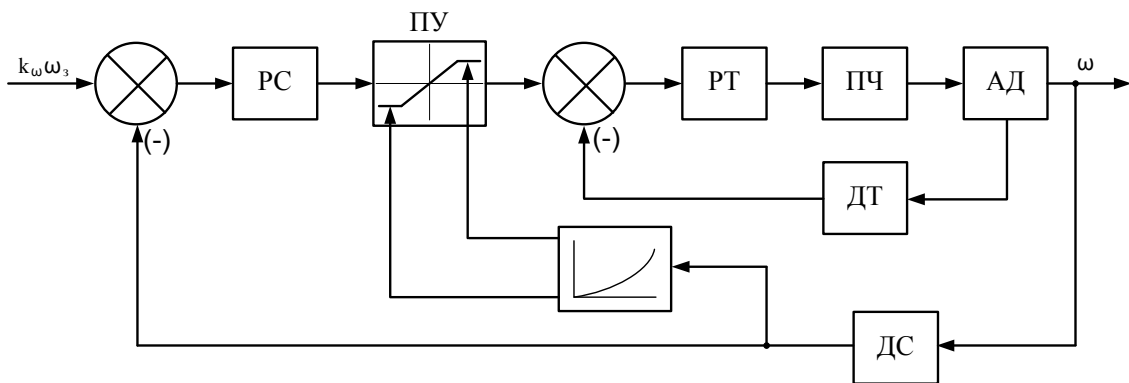


Рисунок 2 – Функциональная схема автоматизированного электропривода: РС-регулятор скорости; ПУ-промежуточный усилитель с регулируемым уровнем насыщения; РТ-регулятор токов; ПЧ-преобразователь частоты; АД-асинхронный электродвигатель; ДТ-датчик токов; НЗ-нелинейное звено; ДС-датчик скорости

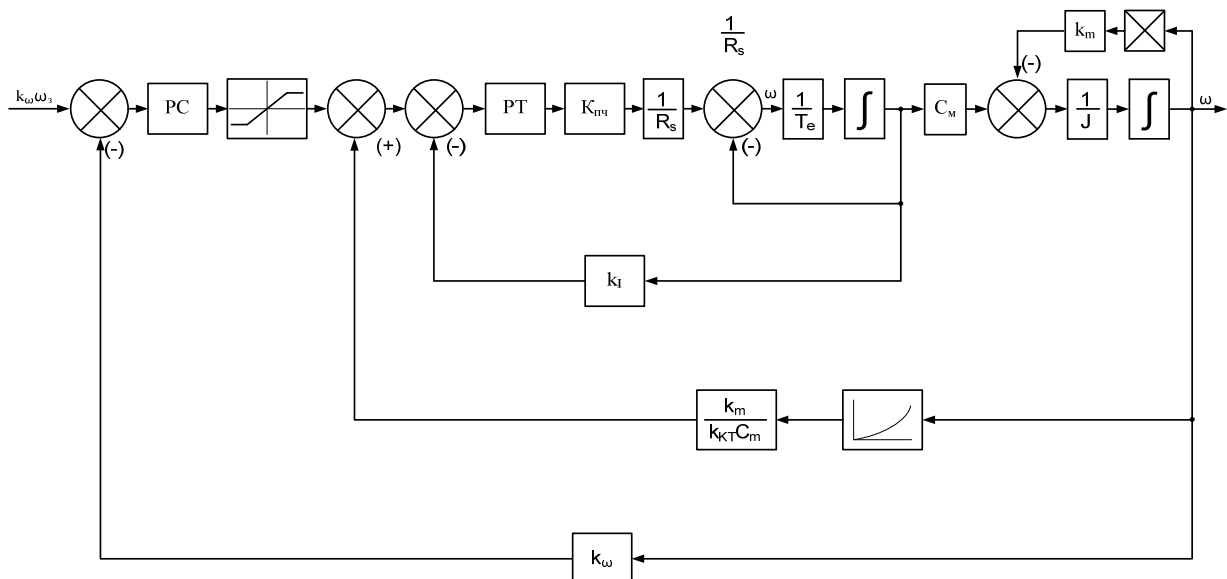


Рисунок 3 – Структурная схема электропривода: R_s -сопротивление обмотки статора; T_e -эквивалентная постоянная времени статора; J -приведенный момент инерции электропривода

Ниже предлагается обеспечить приблизительное постоянство динамического момента работой электропривода на характеристиках ортогональных вентиляторной характеристике нагрузки [3]. Такой режим работы возможен при работе электродвигателя на характеристиках с переменной жесткостью. При малых скоростях жесткость характеристики приближается к абсолютной, а с увеличением скорости уменьшается. Переменная жесткость может быть обеспечена двояко. Первый способ предполагает изменение параметров регулятора скорости (РС) и коэффициента обратной связи по скорости. Второй подход реализуется изменением только параметров РС и управлением, по определенному закону, задающим напряжением U_s на входе РС.

Если асинхронный электропривод работает на линейном участке механической характеристики двигателя, векторное управление, и быстродействие контуров токов значительно выше чем контура скорости, то инерционностью контуров тока можно пренебречь. В результате этого электропривод можно представить упрощенной схемой рисунок 4.

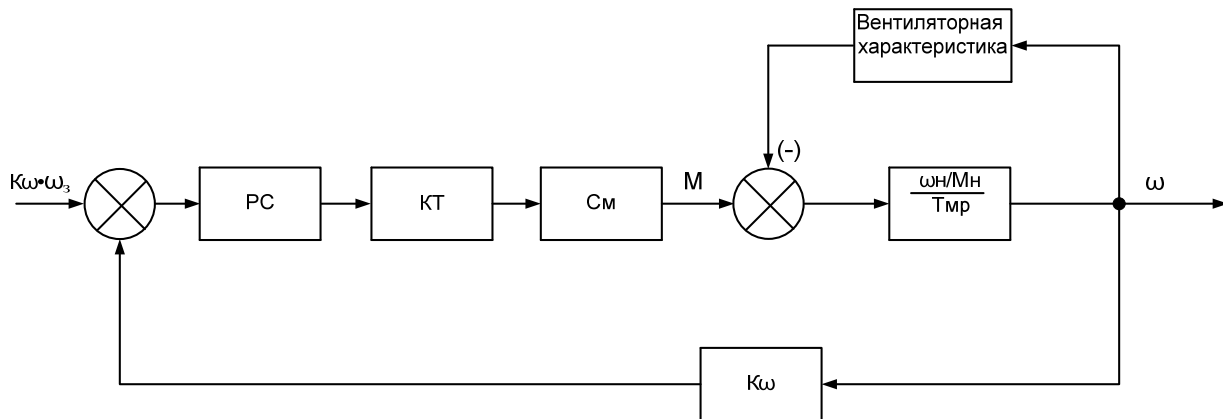


Рисунок 4 – Упрощенная функциональная схема электропривода: КТ-контур регулирования тока безинерционное звено с коэффициентом $K_{\text{кт}}$; C_m -коэффициент пропорциональности между током и моментом двигателя; T_m -механическая постоянная времени, $T_m = J\omega_n/M_n$; K_ω -коэффициент обратной связи по скорости, $K_\omega = U_{\text{зmax}}/\omega_n$; РС-регулятор скорости с коэффициентом которого K_{pc}

Уравнение механической характеристики асинхронного электродвигателя ортогональной вентиляторной характеристике механизма представляет линейный участок. В классическом виде уравнение этого участка имеет вид

$$\omega = \omega_0 - \frac{1}{\beta} M, \quad (2)$$

где β – коэффициент жесткости характеристики, определяемый из выражения

$$M = -\frac{M_{\text{ном}}^2}{2k_m \omega_{\text{ном}}^2 \omega_m} \omega + \frac{M_{\text{ном}}^2}{2k_m \omega_{\text{ном}}^2} + M_m. \quad (3)$$

Продифференцировав (3) получаем

$$\frac{dM}{d\omega} = -\frac{M_{\text{ном}}^2}{2k_m \omega_{\text{ном}}^2 \omega_m} = \beta. \quad (4)$$

По функциональной схеме на рисунке 4 составим уравнение для определения коэффициента регулятора скорости при переменной жесткости

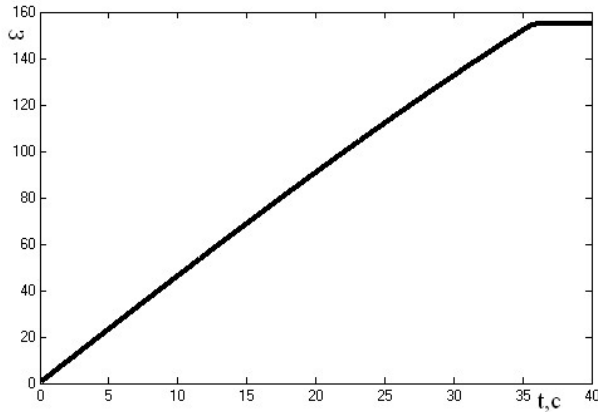
$$K_\omega \Delta\omega K_{\text{pc}} K_{\text{кт}} C_m = M. \quad (5)$$

Выразив $\Delta\omega$ из (2) и подставим его в выражение (5), используя (4) найдем K_{pc}

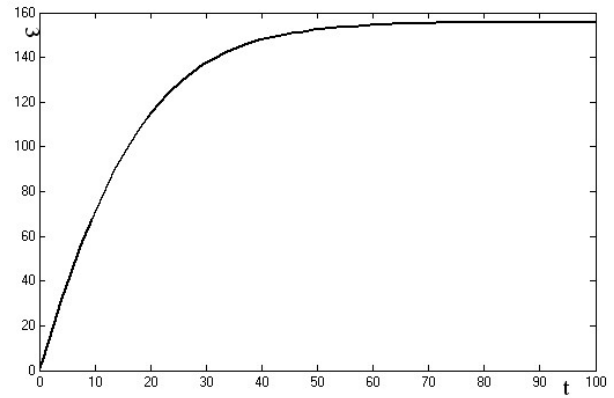
$$K_{\text{pc}} = \frac{\beta}{K_\omega K_{\text{кт}} C_m} = \frac{M_{\text{ном}}^2}{2k_m \omega_{\text{ном}}^2 \omega_t} = \frac{M_{\text{ном}}^2}{2k_m K_\omega K_{\text{кт}} C_m \omega_{\text{ном}}^2 \omega_t}. \quad (6)$$

На рисунках 5 показаны процессы пуска электропривода при постоянстве динамического момента электропривода в соответствии с предложенной структурой (см. рисунок 2) и процесс пуска электропривода при переменной жесткости механических характеристик. А на рисунках 6 приведены динамические механические характеристики предлагаемых вариан-

тов построения электропривода.

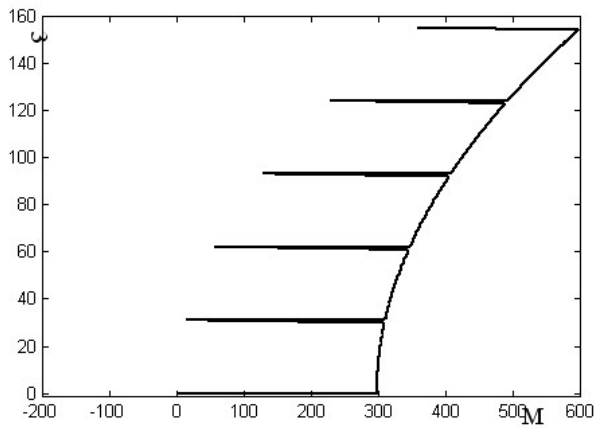


а)

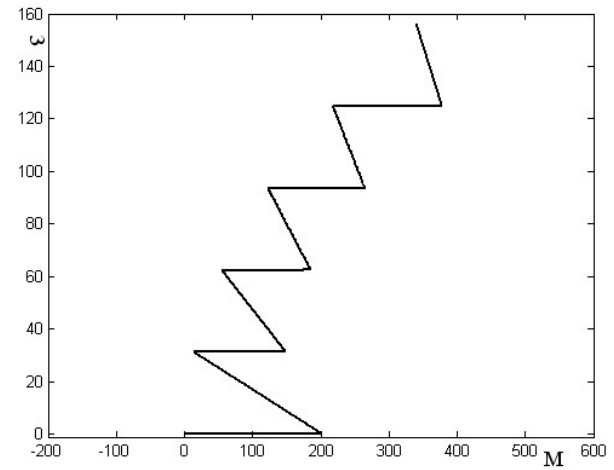


б)

Рисунок 5 – Процесс разгона электропривода при обеспечении: а)-постоянного динамического момента; б)-ортогональности механических характеристик



а)



б)

Рисунок 6 – Динамические характеристики электропривода: а)-при обеспечении постоянного динамического момента; б)-при обеспечении ортогональности механических характеристик

Характеристики переходных процессов при работе электропривода на ортогональных характеристиках показывают, что и при повышении скорости и при ее понижении динамический момент остается приблизительно постоянным, как и при обеспечении постоянного динамического момента. Однако в процессе пуска при работе на характеристиках ортогональных вентиляторной не обеспечивается линейный характер изменения скорости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Фираго, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павличик. -М.: Техноперспектива, 2006. -363 с.
- 2 Браславский, И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; под ред. И.Я. Браславского. -М.: Академия, 2004. -256 с.
- 3 Симаков, Г.М. Способ построения регулируемого асинхронного электропривода с вентиляторной нагрузкой / Г.М. Симаков, М.А. Марченко // Электротехника, электромеханика и электротехнологии: ЭЭЭ-2009: материалы четвертой науч.-техн. конф. с междунар. участием / Новосиб. гос. техн. ун-т; под ред. В.В. Панкратова. -Новосибирск, 2009.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электропривод, динамический момент, механическая характеристика
- СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Симаков Геннадий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Марченко Михаил Александрович, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»
- ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»
630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ОТ КОМПЛЕКСНОГО
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СУДОВЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Ю.А. Самахов, Д.С. Скотников

THE ECONOMIC EFFICIENCY DETERMINATION OF COMPLEX DIAGNOSIS OF THE VESSEL INDUCTION MOTORS
«Novosibirsk state academy of water transport»
Yu.A. Samahov, D.S. Skotnikov

The question of the economic efficiency determination of complex diagnosis has been examined. It is connected with the price calculation for the services to testify the vessel induction motors.

Keywords: economic efficiency, complex diagnosis, vessel induction motors

Рассмотрен вопрос определения экономического эффекта от комплексного диагностирования для расчета цены за услуги по освидетельствованию асинхронных двигателей.

Технические и экономические вопросы освидетельствования электродвигателей изложены в ряде работ [1, 2]. Но экономическая оценка касается в основном вопросов надежности и довольно «расплывчата».

В [3, 4] изложены технические, организационные и методические моменты ТЭО комплексной диагностики.

Существующие методы освидетельствования (СКО), регламентируемые ГОСТ и правилами российского речного регистра, не соответствуют современному уровню. Научно-технический прогресс предлагает использовать систему комплексного диагностирования (СКД). Алгоритм действий по ТЭО СКД отражен в [3]. В настоящей публикации рассмотрены узловые экономические вопросы с методикой оценки эффекта по составляющим.

SWOT-матрица преимуществ и недостатков существующего и предлагаемого методов изложена в таблице 1.

После оценки затрат времени на выполнение работ, определения суммы заработной платы (с учетом загрузки заказами), учета суммы амортизации, расходных материалов и прочих прямых затрат выполняется расчет себестоимости, выбор и обоснование метода определения цены. Экономический эффект потребителя от услуг по диагностированию складывается из следующих моментов:

- снижение убытков от простоев во время диагностических испытаний;
- снижение стоимости ремонта при своевременной идентификации неисправности;
- эффект от прогноза и своевременности проведения ремонтных работ, уменьшение риска непредвиденной остановки оборудования;
- эффект от выявления и устранения дефектов в целях предотвращения непродуктивного использования электроэнергии.

Суммарный годовой эффект от диагностирования определяем для асинхронного двига-

теля со средневзвешенными характеристиками мощности, частоты вращения, стоимости ремонта и профилактических работ.

Таблица 1 – SWOT-матрица преимуществ и недостатков СКО и СКД

СКО	Сильные стороны (S) – СКО утверждена Российским Речным Регистром (РРР), на нее установлен ГОСТ Р-51683-2000; – применение имеет традиции, наработки, работа персонала доведена до автоматизма; – приборы СКО имеются в наличии, входят в Государственный реестр средств измерений, имеют допуск РРР на проверку оборудования; – низкая себестоимость обследования обусловлена простотой приборов и требованиями к квалификации персонала; СКО для многих ОД достаточна и модернизации не требует
СКО	Слабые стороны (W) – Отсутствие информационной базы для прогноза оставшегося ресурса АД; – относительно низкая точность диагноза; – устаревшая методика и приборы СКО не соответствуют современным требованиям техники и информатики; – ограниченный спектр идентифицируемых неисправностей
СКД	Открывающиеся возможности (O) – Автоматизация процесса диагностирования и соответствие современным требованиям техники и информатики; – возможность мониторинга и создания базы данных; – широкий спектр идентифицируемых неисправностей; – возможность диагностирования и контроля качества на всех стадиях жизненного цикла объекта диагностирования (ОД); – возможность прогнозирования изменения состояния ОД; – применение возможно для различных сфер хозяйства; – гибкость системы
СКД	Возможные угрозы (Т) – Отсутствие регистрации в РРР и Государственном реестре средств измерений; – отсутствие детализированной методики и алгоритма получения и обработки сведений; – возникновение дополнительных затрат на приборы и программное обеспечение, необходимость приглашения/подготовки квалифицированных кадров; – традиционное недоверие к новизне и инновациям; – применение СКД перспективно не для всего диапазона ОД судового хозяйства

Снижение убытков от простоев во время диагностических испытаний определяем по формуле

$$Y_{пр} = \frac{t_{бс}}{24} \mathcal{E}_{ар} K_1, \text{ руб./ОД}, \quad (1)$$

где $Y_{пр}$ – убытки от простоев, тыс. руб.;

$t_{бс}$ – время обслуживания АД без вывода его из эксплуатации, ч;

$\mathcal{E}_{ар}$ – средняя арендная плата за судно без топлива, тыс. руб.;

K_1 – коэффициент, учитывающий долю одного АД в числе обследуемых двигателей в период эксплуатации.

Эффект снижения стоимости ремонта при своевременной идентификации неисправностей. Суть эффекта заключается в том, что стоимость своевременного ремонта ниже стоимости ремонта при возникновении отказа и аварии

$$\Delta \mathcal{E}_{рем} = \mathcal{E}_{рем} K_2 K_3, \text{ руб./ОД}, \quad (2)$$

где $\Delta \mathcal{E}_{рем}$ – эффект снижения стоимости ремонта;

$\mathcal{E}_{рем}$ – стоимость ремонта, руб.;

K_2 – коэффициент снижения стоимости ремонта;

K_3 – коэффициент, учитывающий долю ОД в общем числе ежегодно ремонтируемых двигателей.

Эффект от прогноза и своевременности проведения ремонтных работ, уменьшение риска непредвиденной остановки оборудования. Суть эффекта заключается в том, что если отказ возникает внезапно, то увеличиваются затраты времени на подготовку и проведение ремонта, сопровождающиеся дополнительным простоем флота

$$\Delta \mathcal{E}_{пр} = \Delta T \mathcal{E}_{ар} K_3 K_4, \text{ руб./ОД}, \quad (3)$$

где $\Delta \mathcal{E}_{пр}$ – эффект от прогноза;

ΔT – дополнительные затраты времени, сопровождающиеся простоем судов (плавкранов);

K_4 – коэффициент неожиданности возникновения отказа.

И наверное самым экономически значимым является эффект от выявления и устранения дефектов в целях предотвращения непродуктивного использования электроэнергии

$$\Delta \mathcal{E}_{эз} = P_{ав} K_5 T_э 24 K_6 C_{эп} K_7 K_8, \text{ руб./ОД}, \quad (4)$$

где $P_{ав}$ – средневзвешенное значение мощности АД;

K_5 – коэффициент непродуктивного использования электроэнергии;

$T_э$ – продолжительность навигации, сут.;

K_6 – коэф., учитывающий работу двигателя в течение навигации;

$C_{эп}$ – стоимость промышленной электроэнергии, руб./(кВт·ч);

K_7 – отношение стоимости судовой к стоимости промышленной электроэнергии;

K_8 – коэффициент, определяющий долю двигателей, работающих с непродуктивным потреблением энергии.

Рассчитав все показатели экономического эффекта потребителя предлагаемых услуг, формируем сводную таблицу 2 и определяем суммарное значение эффекта.

Таблица 2 – Экономический эффект от диагностирования, руб./ОД

Наименование показателя	Численное значение
Убытки от простоев	285
Эффект снижения стоимости ремонта	153
Эффект от прогноза	1700
Эффект от выявления и устранения дефектов	4650
Суммарный эффект	6840

Эффект от простоев определен на основании арендных ставок судов, плавкранов, земснарядов (без топлива) предприятий ОАО «ЗСРП», ОАО «НРП». Коэффициенты для расчетов K_1 – K_8 получены на базе статистики работы предприятия ООО «НПП» «ФлотЭнергоСервис», ООО «ТехноСервисПлюс» и других электроремонтных организаций.

На основе выполненных расчетов определен экономический эффект, основные показатели которого:

- капиталовложения 451,3 тыс. руб.;
- выручка 2507 тыс. руб.;
- эксплуатационные затраты/из них амортизация 1852/81 тыс. руб.;
- прибыль/из нее в фонд накопления 655/98,3 тыс. руб.;
- срок окупаемости капиталовложений 2,5 года;
- рентабельность основной деятельности 35%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов / Н.Л. Кузнецов. -М.: МЭИ, 2006. -429 с.

2 Макаркин, Н.П. Экономика надежности техники / Н.П. Макаркин. -М.: Экономика, 2001. -434 с.

3 Скотников, Д.С. ТЭО комплексной диагностики судовых электрических машин / Д.С. Скотников, Ю.А. Самахов // Транспортный комплекс Сибири: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2010. -С. 133 -137.

4 Скотников, Д.С. Техничко-экономическое обоснование диагностики судовых электрических машин / Д.С. Скотников // Современные проблемы технических наук: сб. тез. докл. Новосибир. межвуз. науч. студен. конф. «Интеллектуал. потенциал Сибири» 19-20 мая 2010 г. / Администрация Новосиб. обл., Совет ректоров Новосиб. обл., Новосиб. обл. отд-ние нац. системы развития науч. твор. и инновац. деятельности молодежи РФ «Интеграция». -С. 117.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экономический эффект, комплексное диагностирование, судовые асинхронные двигатели

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Самахов Юрий Александрович, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Скотников Дмитрий Сергеевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ДИАГНОСТИКА И АНАЛИЗ ВИБРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Г.Я. Иванов, Б.В. Малозёмов, П.В. Зонов

DIAGNOSIS AND VIBRATION ANALYSIS OF ELECTRICAL MACHINES

«Novosibirsk state technical university»

G.Ya. Ivanov, B.V. Malozyomov, P.V. Zonov

The results of vibration analysis of electrical machines, methods of technical diagnostics and vibration monitoring as a means of detecting changes in the state of electric cars long before the onset rejection.

Keywords: technical diagnostics, vibration diagnostics, vibration, electric machine, rotor

Приведены результаты анализа вибрации электрических машин, методы технической диагностики и вибрационный мониторинг как средство обнаружения изменений состояния электрических машин задолго до наступления отказа.

Как правило, эксплуатационная надежность электрической машины, после выработки ресурса работы резко падает. Существующие методы продления жизненного цикла должны поддерживать эксплуатационную надежность электрической машины равной или близкой к паспортным данным еще в течение ряда лет. Продление жизненного цикла электрической машины, с одной стороны, должно дать экономический эффект, а с другой стороны, технические меры поддержания эксплуатационной надежности вызывают рост материальных затрат. Поэтому необходимо добиться такого положения, чтобы разность между полученным выигрышем и затратами была положительной. В этом случае продление жизненного цикла становится целесообразной и экономически выгодной.

Таким образом, можно отметить, что поддержание эксплуатационной надежности на должном уровне электрической машины, выработавшей ресурс, является не только как техническая категория, но и как крупная экономическая. Поэтому одной из задач является задача определения экономически оправданного уровня надежности электрических машин на заданные годы в определенных областях их применения.

Повышенная вибрация свидетельствует о наличии недостатков конструкции, дефектов изготовления машины и ее сборки, а также о возникновении повреждений. С другой стороны, сама вибрация является источником серьезных повреждений и аварий. В результате повышенной вибрации происходит общее расстройство работы машины, которое включает ослабление прессовки активной стали, разрушение сварных швов, нарушение плотности соединений, расшатывание и ослабление креплений, разрушение деталей вследствие усталости материала и контактной коррозии, снижение газоплотности, ускоренный износ изоляции, появление протечек в системах водо- и маслоснабжения, повышенные потери и нагрев подшипников, расстройство работы и износ контактных колец и щеточного аппарата.

Для получения достаточно полной информации о машине как источнике вибрации и причинах, ее вызывающих, необходим комплекс исследований вибрационных, энергетических, конструктивно-технологических, инерционно-жесткостных и эксплуатационных параметров.

При работе электрических машин уровень вибрации во многом зависит от правильного сопряжения роторов машин и механизмов, входящих в состав агрегата, то есть от их центровки.

В случае применения муфт надо иметь в виду, что они могут сами быть источником вибрации вследствие своей неуравновешенности. Упругие муфты при правильном их монтаже обеспечивают нормальную работу агрегатов при расцентровке, достигающей 0,2-0,3 мм. Допуски на несоосность валов устанавливаются в зависимости от типа соединительной муфты. В результате анализа различных муфт турбогенераторов в таблице приведены расчетные значения допустимых отклонений при центровке валов в турбогенераторах.

Таблица – Допустимые отклонения в несоосности при центровке валов в турбогенераторах

Типы муфты	жесткая	полужесткая	зубчатая
Смещение осей, мм	0,02	0,03	0,04
Излом на 1 мм диаметра муфты, мм	0,05	0,06	0,08

По результатам исследований необходимо отметить, что вибрация машины, возбуждаемая небалансом, практически не поддается расчету из-за невозможности предопределить распределение остаточной неуравновешенности во всем объеме ротора. В самом простом случае, когда в роторе имеется чисто статический небаланс, центр тяжести машины совпадает с центром жесткости амортизирующего крепления и жесткость ротора при изгибе значительно выше жесткости амортизирующего крепления, расчет вибрации можно производить как для одномассовой системы, в которой расчетными элементами являются масса машины и жесткость амортизации.

При гибком роторе, жесткость которого соизмерима с жесткостью амортизации, расчет следует производить как для двухмассовой системы, в которой расчетными элементами являются массы статора и ротора, а также жесткость ротора при изгибе и жесткость амортизации. Вибрация машины в децибелах, измеренная по ускорению, будет тем выше, чем быстрее вращается машина. Опытным путем установлено, что при возрастании скорости вращения в два раза уровень вибрации, возбуждаемой небалансом, повышается примерно на 6 дБ.

Самые высокие вибрации наблюдаются в машинах с гибкими роторами, у которых рабочая скорость вращения выше первой и второй критической скорости ротора. Механические воздействия на изоляцию вызывают в ней ухудшения и дефекты, причем эти ухудшения при одновременном воздействии электрического поля и механических усилий развиваются быстрее. Однако непрерывная микалентная компаундированная изоляция хорошо и длительно сопротивляется механическим воздействиям.

Повышенная вибрация, вызываемая неверным сопряжением валов, дефектами подшипников или вентиляторов, витковыми замыканиями на роторе, двойной жесткостью ротора, резонансами отдельных узлов и т.д., не может быть устранена балансировкой ротора. Только в тех случаях, когда обследованием установлена неуравновешенность ротора, можно принять решение о проведении его балансировки.

Если обмотка одного из полюсов закорочена, то при наличии тока в роторе результирующая сила магнитного притяжения между ротором и статором будет направлена в сторону, противоположную дефектному полюсу. При этом статическое смещение оси ротора (и подшипников) составляет

$$X_{ст} = \frac{F}{2\kappa_n}, \quad (1)$$

где F — результирующая сила магнитного притяжения между ротором и статором;
 κ_n — коэффициент жесткости подшипника.

Если в рассмотренном статическом состоянии системы будет выключен ток возбуждения, то под влиянием сил упругости подшипников ротор с подшипниками начнет двигаться к положению равновесия, пройдет его и будет совершать быстро затухающие свободные (собственные) колебания относительно этого положения до израсходования запаса энергии, полученного системой «ротор – опоры» при статическом прогибе.

Частота собственных колебаний в этом случае может быть определена формулой [1]

$$f_c = \frac{n_c}{60} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\kappa_n}{M_n}}; \quad (2)$$

$$n_c \approx 9,55 \sqrt{\frac{\kappa_n}{M_n}},$$

где f_c — частота собственных колебаний, Гц;
 n_c — частота собственных колебаний в минуту;
 κ_n — коэффициент жесткости подшипника;
 M_n — масса ротора, отнесенная к одному подшипнику, кг.

При равномерном вращении ротора с током в обмотке полюсов сила F вызывает в любой осевой плоскости поперечные вынужденные колебания ротора (и подшипников), определяемые формулой

$$x = X_a \sin(\omega t - \phi), \quad (3)$$

где X_a — амплитуда колебания — наибольший динамический прогиб в процессе колебаний;
 ω — угловая частота вращения ротора, рад/с,

$$\omega = \frac{n}{9,55};$$

n — частота вращения ротора, об/мин.

В свою очередь сила F рассчитывается следующим образом. Если ротор вращается с частотой n , то в любой осевой плоскости к каждому из подшипников приложена половина неуравновешенной возмущающей силы инерции, амплитуда которой равна

$$F_a = mr\omega^2 \approx 0,011mrn^2, \quad (4)$$

где F_a — в ньютонах;

m — в килограммах;

r — в метрах.

Как было отмечено, вибрация машин и механизмов представляет сложный процесс. Низкочастотная вибрация носит преимущественно гармонический характер, так как одной из характерных причин низкочастотных возмущений является неуравновешенность вращающихся масс. Колебания в диапазоне средних частот, вызываемые рабочими процессами в машинах, в большинстве своем полигармонические. Высокочастотная вибрация, являющаяся одновременным проявлением различных периодических и непериодических возбуждений, имеет, по большей части, сплошной спектр.

Одним из основных вопросов оценки виброактивности машин заключается установление частотного диапазона, в котором должен производиться контроль вибрации.

Практический анализ показал, что эффективный контроль за техническим состоянием машин может быть обеспечен при вибрации в частотном диапазоне 3-8 кГц.

Второй вопрос контроля и нормирования вибрационных параметров заключается в выборе оптимальной ширины полосы частотного анализа. С целью увеличения объема информации о техническом состоянии машин в эксплуатационных условиях и получения предварительных данных о причинах возможных дефектов контроль и нормирование вибрации предпочтительнее осуществлять в широком спектре частот.

Третий вопрос контроля и нормирования вибрации машин состоит в выборе параметров для характеристики интенсивности вибрационного процесса.

В техническом обслуживании электрических машин вибрационный мониторинг и диагностика занимают особое место в силу своих возможностей обнаружения изменений состояния задолго до наступления аварийной ситуации [2].

По мнению авторов, задачей систем вибрационной диагностики в отличие от систем мониторинга, является минимизация всех затрат, как на саму систему и ее обслуживание, так и на обслуживание и ремонт всей группы диагностируемых машин. Первой из составных частей систем вибрационной диагностики являются средства измерения и анализа сигнала вибрации. Для электрических машин основным видом анализа сигналов является спектральный, легко реализуемый с помощью цифрового преобразователя Фурье, а также с помощью Вейвлет-преобразования [3]. Для измерения и анализа кроме датчиков вибрации используются либо цифровые приборы (анализаторы спектра), либо компьютеры, но в последнем случае они комплектуются дополнительными устройствами согласования с датчиками и преобразования сигнала в цифровую форму. Иногда пользователю приходится устанавливать датчики вибрации в недоступные места стационарно, и в таких случаях он может либо вывести кабели в доступные места и в них измерять вибрацию прибором, либо объединить эти датчики в стационарную систему диагностики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Боровков, А.А. Теория вероятностей / А.А. Боровков. -М.: Наука, 1976. -431 с.
- 2 Козырев, Н.А. Изоляция электрических машин и методы ее испытания / Н.А. Козырев. -Л.: Госэнергоиздат, 1961. -264 с.
- 3 Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин / И.П. Копылов. -М.: Высш. шк., 1994. -234 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *техническая диагностика, вибродиагностика, вибрации, электрическая машина, ротор*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Иванов Геннадий Яковлевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «НГТУ»*

Малозёмов Борис Витальевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

Зонов Павел Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПОД НАГРУЗКОЙ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Г.Я. Иванов, Б.В. Малозёмов, П.В. Зонов

INVESTIGATION OF ELECTRIC MACHINES UNDER LOAD

«Novosibirsk state technical university»

G.Ya. Ivanov, B.V. Malozyomov, P.V. Zonov

The results of experimental studies of the properties of vibration, both qualitative and quantitative analysis of the vibration of electrical machines under load.

Keywords: technical diagnostics, vibration diagnostics, vibration, electric machine, rotor

Приведены результаты экспериментального исследования свойств вибрации, качественного и количественного анализа вибрации электрических машин под нагрузкой.

Механическая вибрация представляет собой движение тела относительно положения равновесия в пространстве. Колебания, генерируемые электрическими машинами, целесообразно рассматривать в диапазонах низких, средних и высоких частот. Наиболее вероятными причинами низкочастотных колебаний (от 0 до 300 Гц) являются эксцентриситет, неуравновешенность вращающихся масс, несовершенство подшипников качения, нарушение геометрии «шип-подшипник» у подшипников скольжения [1].

В результате анализа диагностических признаков, авторами предложено выделять следующие параметры диагностирования, характеризующие вибрацию:

- двойная амплитуда вибрации $2A$, мкм;
- вибрационная скорость, дБ

$$v_B = 20 \lg \left(\frac{v}{v_0} \right),$$

где v – текущее значение величины виброскорости, мм/с;

v_0 – нулевое (пороговое) значение виброскорости, $v_0 = 5 \cdot 10^{-5}$ мм/с;

- вибрационное ускорение, дБ

$$w_B = 20 \lg \left(\frac{w}{w_0} \right),$$

где w – текущее значение величины виброускорения, мм/с²;

w_0 – нулевое (пороговое) значение виброускорения, $w_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ м/с².

При эксплуатации электродвигателей возникает вибрация от небаланса ротора, выработки подшипников, неуравновешенности приводимого механизма. Авторами замечено, что в начальный период эксплуатации вибрация электрических двигателей существенно не сказывается на надежности обмоток, так как пропиточный лак цементирует обмотку.

Различные дефекты гибкого вала значительной протяженности обуславливают силовое и кинетическое возбуждение в системе, приводящее к вынужденной вибрации, частота которой равна частоте вращения гибкого вала. Как было практически установлено, к числу таких дефектов относятся эксцентриситет масс, перекося дисков на роторе, прогиб ротора, несоосность соединений муфт роторов.

Эксцентриситет масс ротора возникает во время изготовления и ремонта электрической машины.

Перекося дисков на роторе может возникнуть при изготовлении ротора или пересадке дисков во время ремонта.

Прогиб ротора возникает, как правило, при пусках и остановках. Прогиб является результатом касания ротора о статор, приводящий к местному (по окружности) истиранию изоляции.

Несоосность соединений муфт роторов может возникнуть во время изготовления, монтажа и ремонта. Коленчатость в соединении определяет радиальное смещение осей роторов, суммарный перекося торцов полумуфт – угловое смещение (излом осей).

Вибрация электрических машин вызывается неуравновешенностью вращательных частей, механическими неисправностями или причинами электромагнитного характера [2].

Механические вибрации любого происхождения для правильной работы двигателя вредны.

Расчет уровня вибрации ведется на основании уравнения собственных колебаний в вертикальной плоскости

$$M_d \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = 0, \quad (1)$$

где x – радиальное смещение;

M_d – масса двигателя;

k – жесткость упругого элемента.

Частота собственных колебаний системы определяется выражением

$$\omega_0 = \sqrt{k/M_d}. \quad (2)$$

Центробежная сила при статическом небалансе

$$P_u = M_p e \omega^2, \quad (3)$$

где M_p – масса ротора, кг;

ω – угловая частота вращения ротора, с^{-1} ,

$$\omega = \frac{2\pi n}{60};$$

e – величина относительной неуравновешенности,

$$e = \frac{m_1 r}{M_p};$$

r – радиус вращения элемента массой m_1 , м.

Радиальная составляющая центробежной силы

$$P_r = P_u \sin \omega t. \quad (4)$$

Радиальное смещение x относительно центра тяжести

$$x = \frac{M_p e}{M_d} \sin \omega t. \quad (5)$$

Дифференцируя уравнение (5) по времени, определяем эффективную вибрационную скорость (мм/с) в любой точке на станине

$$v_n^{cm} = \frac{M_p e \omega}{\sqrt{2} M_d} 10^3. \quad (6)$$

Для динамического дисбаланса эффективная вибрационная скорость

$$v_n^{дин} = \frac{M_p e \omega}{4\sqrt{2} J} l \cdot L \cdot 10^3, \quad (7)$$

где L – расстояние между подшипниками;

l – расстояние между балансировочными плоскостями, м;

J – момент инерции машины относительно оси, проходящий через центр тяжести машины и перпендикулярной оси вращения.

С течением времени в процессе работы машины жесткость крепления вибрирующих частей может ослабевать; результатом этого является не только дальнейшее возрастание данной вибрации, но и некоторое снижение резонансных частот, что особенно опасно, когда рабочая частота находится на участке характеристики, где вибрация возрастает с повышением частоты. Следовательно, достаточно небольшого смещения характеристики, чтобы вибрация резко возросла, о чем иллюстрирует рисунок 1, полученный в результате эксперимента.

Представленный на рисунке 1 график, предметом которого является тангенциальная составляющая вибрации головок лобовых частей обмотки статора турбогенератора, в данном случае в режиме холостого хода, выдан электронной вычислительной машиной.

Многочисленные проведенные испытания показали, что вибрации при нагрузке не только не превосходят значений, полученных измерениями при холостом ходе и коротком замыкании, но даже имеют отчетливую тенденцию к некоторому уменьшению.

Амплитуда радиальных и тангенциальных колебаний статора в гидрогенераторах достигают сотни микрон. Таков же порядок амплитуд вибрации головок лобовых частей обмотки статора.

График, приведенный на рисунке 2, позволяет производить оценку колебаний фундаментов и самих машин.

Граница между областями сильных и умеренных вибраций может рассматриваться как кривая изменения предельных величин допускаемых амплитуд вибраций в зависимости от частоты. Так, при скорости вращения вала 400 об/мин допустимая амплитуда колебаний составляет $A=0,2$ мм, а при 2400 об/мин только 0,05 мм.

Опыт эксплуатации показал, что для тихоходных машин (менее 300 об/мин) размах допустимых колебаний не должен превышать при удовлетворительной оценке – 0,19 мм, при хорошей – 0,15 мм, при отличной – 0,1 мм.

Согласно действующим нормам, амплитуда колебаний фундаментов для низкочастотных машин допускается до 0,2 мм (размах $S=2A=0,4$ мм). Эта величина в настоящее время служит одним из основных критериев оценки правильности расчета фундаментов машин.

Для машин, работающих в наиболее тяжелых условиях и обладающих повышенной прочностью и выносливостью, указанные нормы могут быть несколько повышены. Так, например, для фундаментов под дробилки различных видов (число оборотов которых не превышает 250-300 об/мин) рекомендуется принимать величину амплитуды горизонтальных колебаний, равную 0,3 мм.

При проектировании фундаментов под машины ударного действия предельное значение амплитуд свободных колебаний фундамента, вызываемых ударами, независимо от вида и параметров машины принимается равным 1,0-1,2 мм.

Поскольку усилия при вращении ротора пропорциональны квадрату частоты, то к быстроходным машинам, по мнению авторов, следует предъявлять более жесткие требования. На рисунке 3 приводится номограмма рекомендованных авторами допустимых вибраций быстроходных машин в зависимости от частоты вращения и ускорений.

По графику на рисунке 3 вибрации фундамента машины при частоте 2000 об/мин., размахе $S=0,05$ мм и ускорении до $1,2$ м/с² дается удовлетворительная оценка работе машины. При размахе $S=0,18$ мм и ускорении до 5 м/с² вибрация машины считается опасной.

Проведенные испытания авторов показали, что вибрации при нагрузке не только не превосходят значений, полученных измерениями при холостом ходе и коротком замыка-

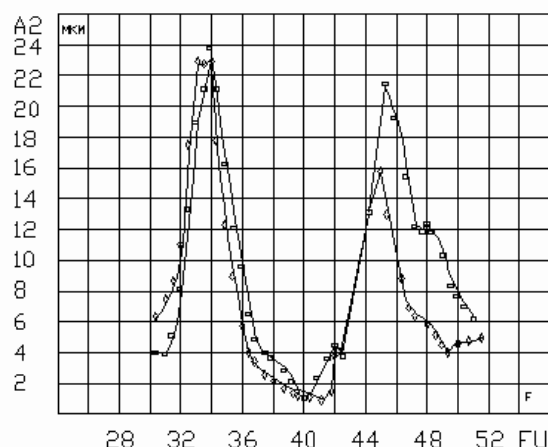


Рисунок 1 – График зависимости амплитуды вибрации от частоты работы ротора

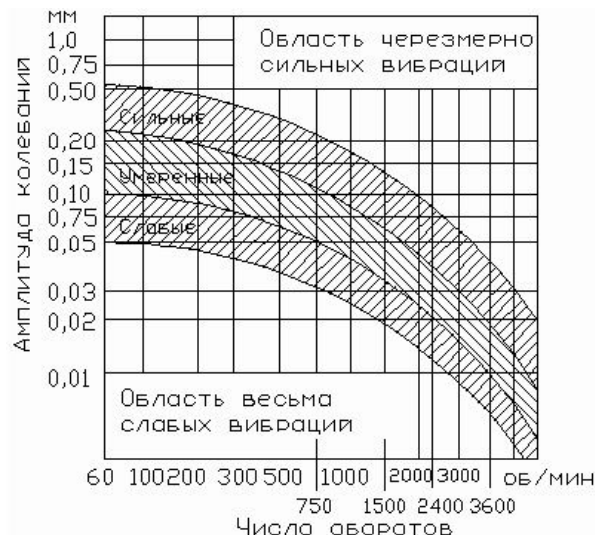


Рисунок 2 – График для оценки интенсивности колебаний фундаментов под агрегаты с установившимся движением

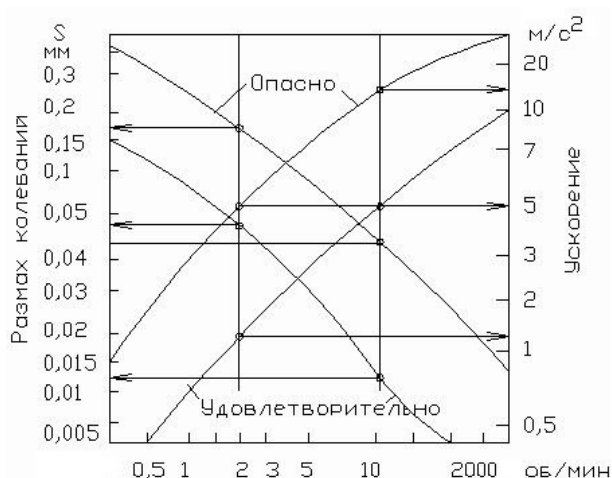


Рисунок 3 – Номограмма определения вибрации электрических машин в зависимости от частоты вращения и ускорений

нии, но даже имеют отчетливую тенденцию к некоторому уменьшению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Тихомиров, Ю.Ф. Промышленные вибрации и борьба с ними / Ю.Ф. Тихомиров. -М.: Наука, 1984. -238 с.

2 Гемке, Р.Г. Неисправности электрических машин / Р.Г. Гемке. -Л.: Госэнергоиздат, 1961. -264 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *техническая диагностика, вибродиагностика, вибрации, электрическая машина, ротор*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Иванов Геннадий Яковлевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «НГТУ»*

Малозёмов Борис Витальевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

Зонов Павел Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»*

ПИД-РЕГУЛЯТОР ТОКА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

**ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический
университет»**

Д.А. Чумачев, Н.И. Щуров

CURRENT OF PID CONTROLLER IN CONTROL SYSTEM OF THE TRACTION DRIVE OF ELECTRIC VEHICLE

«Novosibirsk state technical university»

D.A. Chumachev, N.I. Schurov

The method of calculation current of PID controller for the purpose of choice optimal coefficients and create to digital controller with required parameters are developed.

Keywords: proportional-integral-differential controller, digital controller, accumulator car, chemical current source

Разработана методика расчета ПИД-регулятора тока, с целью выбора оптимальных коэффициентов и создания на их основе цифрового регулятора с требуемыми параметрами.

На машиностроительных заводах и предприятиях других отраслей во внутри- и междо- ховом транспорте деталей, полуфабрикатов, материалов широко используются электротележки с неподъемной платформой (электрокары). Электротележки не могут быть рационально заменены электро- или автопогрузчиками, которые выгодны лишь при работе на коротких плечах, когда решающее влияние на производительность оказывают механизированный захват и укладка груза. Электротележки являются не погрузо-разгрузочными, а транспортными машинами; они решают задачу транспортирования грузов в портах и аэро- портах, в гостиницах, спортивных, туристических и торговых комплексах и эффективны при работе на больших плечах порядка 400-800 м [1, 2].

В [3] была рассмотрена система прямого цифрового управления с векторной широтно- импульсной модуляцией синхронным двигателем с постоянными магнитами, которая обеспечивает гибкость в управлении электрической машиной за счет использования микрокон- троллера. При этом в зависимости от области применения, характеристики привода могут быть настроены путем изменения алгоритма управления. Появляется возможность не толь- ко настроить алгоритм управления преобразователя с точки зрения потребительских свойств, но и учесть ограниченность запаса электроэнергии и особенность применяемого химического источника тока (ХИТ), то есть достичь максимально возможного пробега при заданном заряде аккумуляторной батареи, равно как и увеличить срок ее службы.

После появления «дешевых» микропроцессоров и аналого-цифровых преобразовате- лей в промышленных ПИД-регуляторах используется автоматическая настройка парамет- ров, адаптивные алгоритмы, нейронные сети, генетические алгоритмы, методы нечеткой ло- гики. Также усложнились структуры регуляторов: появились регуляторы с двумя степенями свободы, с применением принципов разомкнутого управления в сочетании с обратной свя- зью, со встроенной моделью процесса. Кроме функции регулирования в ПИД-контроллер были введены функции аварийной сигнализации, контроля разрыва контура регулирования и др.

Несмотря на долгую историю развития и большое количество публикаций по данной

тематике, остаются проблемы в вопросах устранения интегрального насыщения, регулирования объектов с гистерезисом и нелинейностями, автоматической настройки и адаптации. Практические реализации ПИД-контроллеров не всегда содержат антиалиасные фильтры, чрезмерный шум и внешние возмущения затрудняют настройку параметров. Проблемы усложняются тем, что в современных системах управления динамика часто неизвестна, регулируемые процессы нельзя считать независимыми, измерения сильно зашумлены, нагрузка непостоянна, технологические процессы непрерывны.

Постоянно растущие требования рынка к снижению времени регулирования, к качеству переходного процесса, к ослаблению влияния внешних возмущений и шумов, к упрощению процедуры настройки, а также необходимость управления объектами с большой транспортной задержкой инициировали появление множества модификаций ПИД-регуляторов.

Методы оптимизации для нахождения параметров регулятора очень просты и аналогичны численным методам идентификации параметров объекта. В частности, выбирается критерий минимизации, в качестве которого может быть один из показателей качества или комплексный критерий, составленный из нескольких показателей с разными весовыми коэффициентами. К критерию добавляются ограничения, накладываемые требованиями робастности. Таким путем получается критериальная функция, которая зависит от параметров ПИД-регулятора. Затем, используются численные методы минимизации критериальной функции с заданными ограничениями, которые и позволяют отыскать параметры ПИД-регулятора [5-7].

Настройка ПИД-регулятора может выполняться вручную или автоматически. Все виды автоматической настройки включают в себя три этапа: идентификация, расчет параметров регулятора, настройка [4].

Для идентификации объекта управления необходимо измерять сигнал на его входе $u(t)$ и реакцию на его выходе $y(t)$. Если входной сигнал подается специально с целью идентификации, то такой процесс называется активным. При активном эксперименте сигнал должен иметь достаточно малую амплитуду, чтобы переходной процесс в объекте оставался в границах линейности. В то же время он должен быть достаточно большим, чтобы увеличить отношение сигнала к шуму и внешним возмущениям. Перед началом эксперимента объект должен находиться в устойчивом состоянии и быть устойчивым. Часто конечный этап включает в себя этап подстройки или так называемую оптимизацию настройки. Оптимизация настройки необходима в связи с тем, что методы расчета параметров регулятора являются упрощенными, не учитывают нелинейности объекта, а идентификация параметров объекта выполняется с некоторой погрешностью. Подстройка регулятора может быть поисковой, то есть без идентификации объекта и с идентификацией. Поисковая идентификация базируется обычно на правилах, которые используются для ручной настройки основанных на теоретическом анализе и численном эксперименте. Данную настройку удобно выполнять с применением интерактивного программного обеспечения на компьютере.

Простейшая система автоматического регулирования с обратной связью показана на рисунке 1 и 2.

В ней блок R называют регулятором (Regulator), P - объектом регулирования (от слова Process), r - управляющим воздействием или уставкой (reference), e - сигналом рассогласования или ошибки (error), u - выходной величиной регулятора, y - регулируемой величиной.

Выходная переменная u регулятора R описывается выражением

$$u(t) = K e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (1)$$

где t – время;

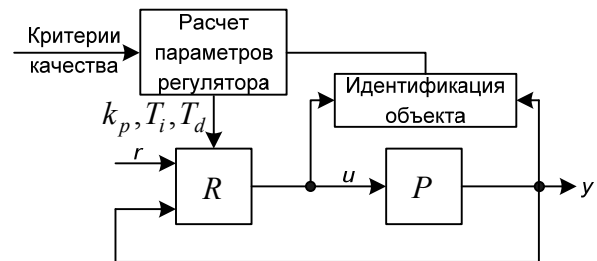


Рисунок 1 – Общая структура системы с автоматической настройкой

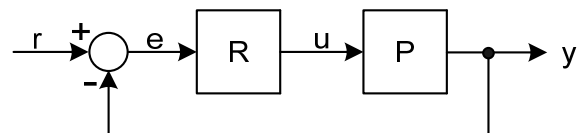


Рисунок 2 – ПИД-регулятор в системе с обратной связью

K, T_i, T_d – пропорциональный коэффициент, постоянная интегрирования и постоянная дифференцирования.

Уравнение (1) может быть записано в другом виде:

$$u(t) = K_0 \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]; \quad (2)$$

$$u(t) = K e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}. \quad (3)$$

В системе с ПИД-регулятором реальный ток двигателя измеряется при помощи АЦП контроллера, а на вход системы поступают значения в виде массива задатчика тока. В результате сигнал ошибки для первого сектора можно записать как

$$\Delta I(t) = i_{\text{зад},i}(t) - I_{\text{изм},i}(t). \quad (4)$$

Сигнал ошибки поступает на пропорциональное, интегральное и дифференциальное звено ПИД-регулятора. Синтез ПИД-регулятора заключается в определении значений k_p, k_i, k_d по заданным требованиям к качеству системы. В данной математической модели можно настраивать систему ПИД-регулятора тока обособленно от других подсистем, то есть видеть влияние каждого конкретного звена в определенный момент времени на переходной процесс. Также математическая модель позволяет увидеть полную картину совместного влияния на систему трех составляющих регулятора. Пропорциональное звено производит умножение сигнала ошибки на коэффициент k_p и формирует выходной сигнал $pro(t) = \Delta I(t) \cdot k_p$. На рисунке 3 показана зависимость тока в двух фазах двигателя, где t – период дискретизации, а ток представлен в единицах микроконтроллера (8-битное значение тока).

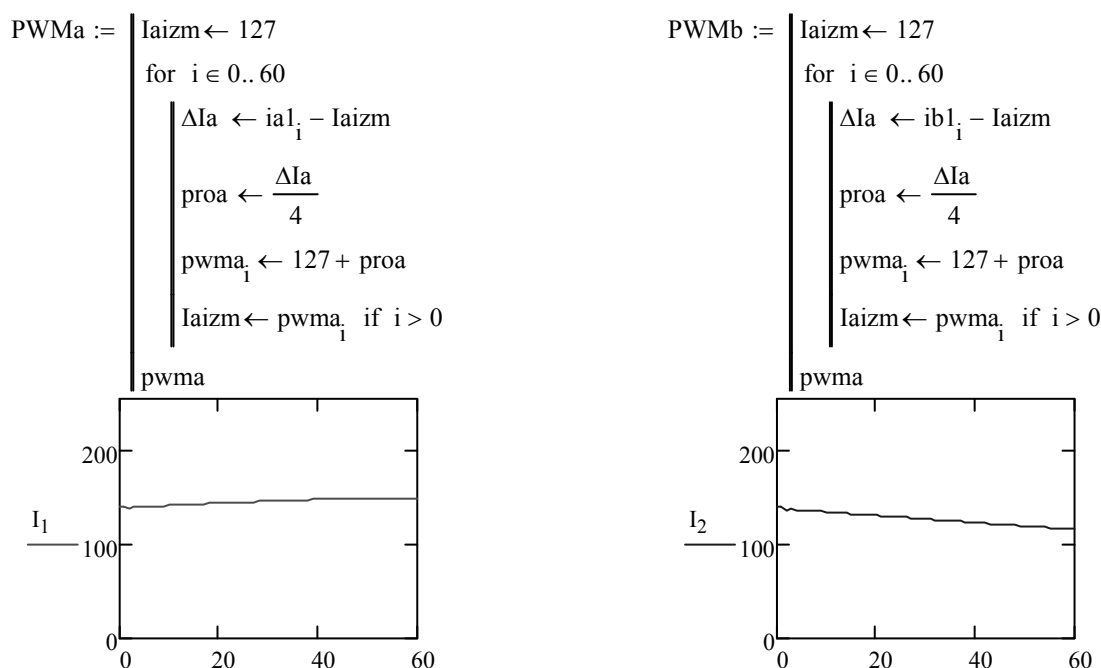


Рисунок 3 – Настройка пропорционального звена в первом секторе

Таблица 1 – Массив значений тока интегральной и дифференциальной составляющей в первом секторе

	0	1	2	3	4	5	6
0	141,375	137,359	138,483	138,737	139,213	139,768	140,22
1	141,375	137,049	136,942	136,25	136,047	135,743	135,608
2	0	-1,487	-1,067	-0,783	-0,477	-0,233	-0,117
3	0	-1,787	-1,562	-1,483	-1,208	-1,031	-0,853
4	0	1,19	0,139	-0,171	-0,313	-0,32	-0,221
5	0	1,43	0,392	0,094	-0,183	-0,214	...

Обозначения: в строках 0 и 1 приведены оцифрованные значения токов в двух фазах двигателя, а в строках 2 и 3 – величина интегральной ошибки; в строках 4, 5 величина дифференциальной ошибки

Интегральное звено производит интегрирование сигнала $\Delta I(t)$ по времени, умножает на коэффициент k_i и формирует выходной сигнал

$$\text{int}(t) = \int_0^t \Delta I(t) dt \cdot k_i.$$

Дифференциальное звено производит дифференцирование сигнала ошибки по времени, умножает на коэффициент k_d и формирует выходной сигнал

$$\text{dif}(t) = \frac{d\Delta I(t)}{dt} \cdot k_d.$$

В результате формируется выходной сигнал, $\varepsilon(t)$ который может быть записан как

$$\varepsilon(t) = \text{pro}(t) + \text{int}(t) + \text{dif}(t).$$

На рисунке 4 показана работа ПИД-регулятора за шесть фиксированных положений пространственного вектора выходного напряжения с коэффициентами

$$k_p = 0,33; k_i = 2,5; k_d = 0,9.$$

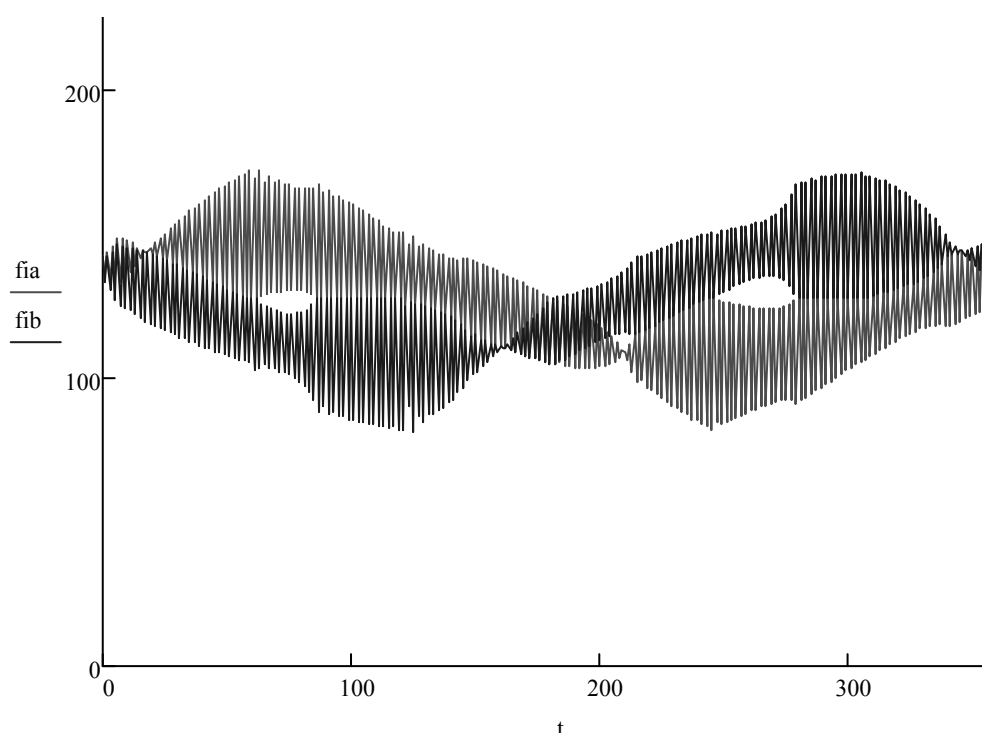


Рисунок 4 – Работа ПИД-регулятора с заданными коэффициентами

Как видно, (рисунок 4) данный переходной процесс не удовлетворяет необходимым требованиям к качеству системы, поэтому следует отыскать наиболее оптимальные коэффициенты для адекватной работы ПИД-регулятора. На рисунке 5 показана работа регулятора с оптимальными коэффициентами. В таблице 2 приведена малая часть значений тока, интегральной и дифференциальной ошибки. После выполнения настройки значения коэффициентов регулятора записываются в память микроконтроллера.

Таблица 2 – Массив значений тока, интегральной и дифференциальной составляющей для шести секторов

	0	1	2	3	4	5	6
0	138,625	138,821	139,081	139,4	139,662	140,015	140,3
1	138,625	138,011	137,541	136,912	136,497	135,989	135,688
2	0	-0,112	-0,173	-0,189	-0,214	-0,195	-0,202
3	0	-0,412	-0,668	-0,888	-0,945	-0,993	-0,938
4	0	0,09	0,085	0,046	0,038	$3,256 \cdot 10^{-4}$	$6,117 \cdot 10^{-3}$
5	0	0,33	0,336	0,311	0,169	0,106	...

Обозначения: в строках 0 и 1 приведены оцифрованные значения токов в двух фазах двигателя, а в строках 2 и 3 – величина интегральной ошибки; в строках 4, 5 величина дифференциальной ошибки

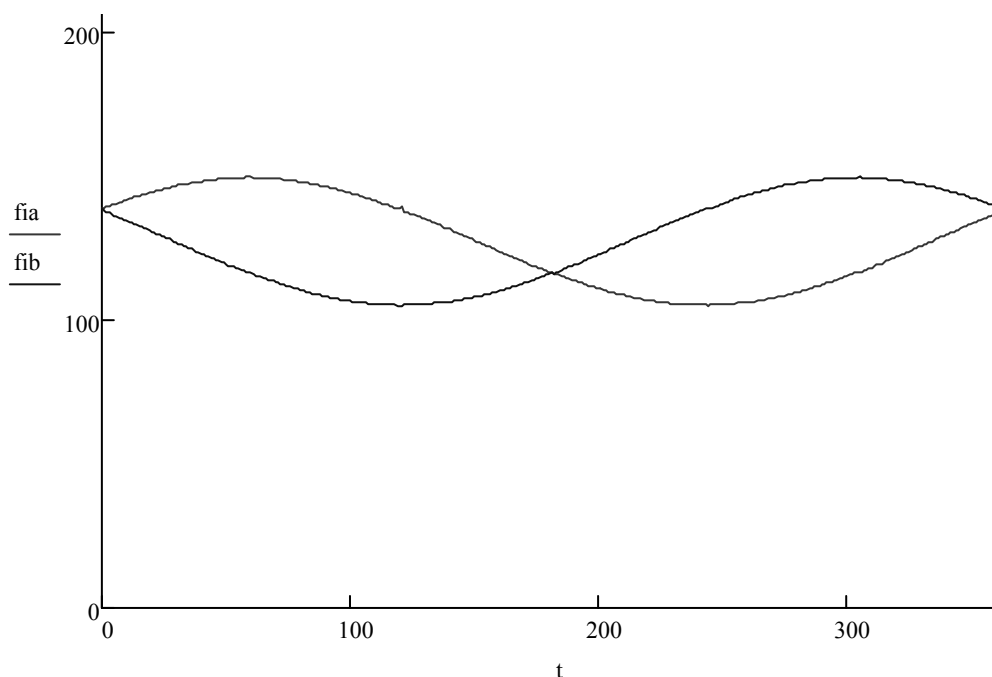


Рисунок 5 – Оптимальная работа ПИД-регулятора с коэффициентами $k_p = 0,25$; $k_i = 0,5$; $k_d = 0,4$

1 С ростом пропорционального коэффициента k_p увеличивается модуль петлевого усиления контура регулирования и точность во всем диапазоне частот, однако падает запас по фазе и усилению, что ухудшает робастность и качество регулирования системы, а при дальнейшем увеличении возникают периодические колебания, то есть система теряет устойчивость.

2 С уменьшением интегральной составляющей k_i увеличивается модуль коэффициента усиления регулятора при приближении к установившемуся режиму и снижается погрешность.

3 С увеличением дифференциальной составляющей k_d растет усиление на высоких частотах, что приводит к усилению шумов и внешних возмущений. Соответственно, дифференциальную составляющую необходимо использовать только для улучшения формы переходного процесса в системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Мачульский, И.И. Машины напольного безрельсового транспорта / И.И. Мачульский, Е.А. Алепин. -М.: Машиностроение, 1982. -232 с.: ил.

2 Погрузчики: справочник / Г.П. Ефимов, Е.А. Алепин, М.А. Зискинд, Я.Г. Коковский, И.И. Мачульский; под ред. Г.П. Ефимова. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Транспорт, 1989. - 240 с.: ил., табл. -Библиогр.: с. 238.

3 Чумачев, Д.А. Система прямого цифрового управления с векторной широтно-импульсной модуляцией синхронным двигателем с постоянными магнитами / Д.А. Чумачев // Трансп.: наука, техника, упр.: науч.-информ. сб. / РАН ВИНТИ. -2010. -№8. -С. 46-48.

4 Изерман, Р. Цифровые системы управления / Р. Изерман. -М.: Мир, 1984. -541 с.

5 Денисенко, В.В. Разновидности ПИД-регуляторов / В.В. Денисенко // Автоматизация в пром-сти. -2007. -№6. -С. 45-50.

6 Штейнберг, Ш.Е. Идентификация в системах управления / Ш.Е. Штейнберг. -М.: Энергоатомиздат, 1987. -80 с.

7 Гроп, Д. Методы идентификации систем / Д. Гроп. -М.: Мир, 1979. -302 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор, цифровой регулятор, электротележка, химический источник тока

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Щуров Николай Иванович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «НГТУ»
Чумачев Дмитрий Анатольевич, ассистент ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОАПВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ КОМПЕНСАЦИИ ЛИНИЙ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

ЗАО «Сибирская электроника»

Е.Н. Красильников

INCREASE OF EFFICIENCY OF SINGLE-PHASE AUTOMATIC RECLOSING IN CASE OF THE COMBINED SHUNT COMPENSATION OF EHV LINES

«Siberian Electronics»

E.N. Krasil'nikov

The combined shunt compensation of EHV lines containing besides traditional shunting reactors, connected to a line by reactor switches, also constantly connected reactors under the scheme of a star with not earthed neutral is offered. Use of combined compensation allows effectively to reduce secondary arc currents in pause of single-phase automatic reclosing.

Keywords: EHV line, shunting reactor, reactor with not earthed neutral, single-phase automatic reclosing

Рассматривается комбинированная поперечная компенсация ВЛ СВН, содержащая помимо традиционных шунтирующих реакторов, подключенных к линии реакторными выключателями, также постоянно подсоединенные реакторы по схеме звезды с незаземленной нейтралью. Использование комбинированной компенсации позволяет эффективно снижать токи дуги подпитки в паузу ОАПВ.

Шунтирующие реакторы (ШР), которыми оснащены электропередачи сверхвысокого напряжения (СВН), в общем случае выполняют три важнейшие функции (рисунок 1), а именно, компенсацию зарядной мощности в нормальных режимах, ограничение внутренних перенапряжений при вводе линии в работу и в аварийных режимах, а также снижение токов дуги подпитки для осуществления успешного ОАПВ при ликвидации наиболее вероятных однофазных дуговых КЗ [1, 2]. Для решения последней задачи ШР дополняется компенсационным реактором, устанавливаемым в нейтрали [3]. В нормальных режимах этот реактор зашунтирован выключателем и вводится в работу в режиме паузы ОАПВ.

В существующих сетях 500 и 750 кВ в нашей стране и за рубежом степень поперечной компенсации недостаточна и, как правило, не превышает 70%. Тогда как целесообразная степень компенсации в таких линиях должна приближаться к 100%.

Один из недостатков традиционной поперечной компенсации связан с необходимостью коммутации реакторных выключателей для введения в работу всех шунтирующих реакторов в паузу ОАПВ для обеспечения условий гашения дуги подпитки [2].

Указанный недостаток традиционной схемы компенсации предлагается исключить за счет комбинированной поперечной компенсации (рисунок 2), суть которой состоит в использовании незаземлённых шунтирующих реакторов, подключаемых по концам линии по схеме звезды с незаземленной нейтралью [4].

В дальнейшем традиционный ШР, нейтраль которого заземлена, будем обозначать как ШР- Y_0 , а предлагаемый ШР с незаземленной нейтралью как ШР- Y .

Параметры незаземлённых реакторов ШР- Y обеспечивают компенсацию межфазовых

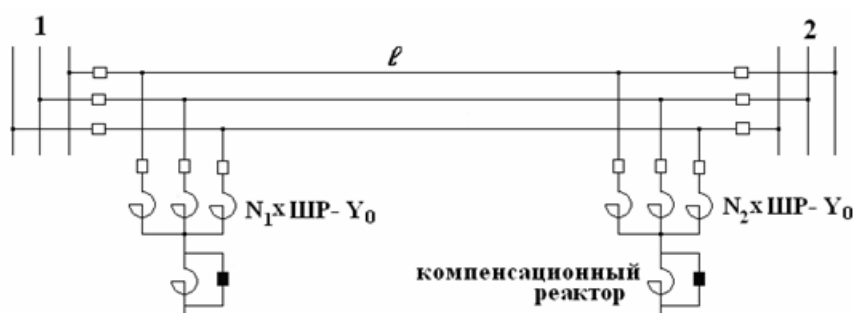


Рисунок 1 – Традиционная поперечная компенсация

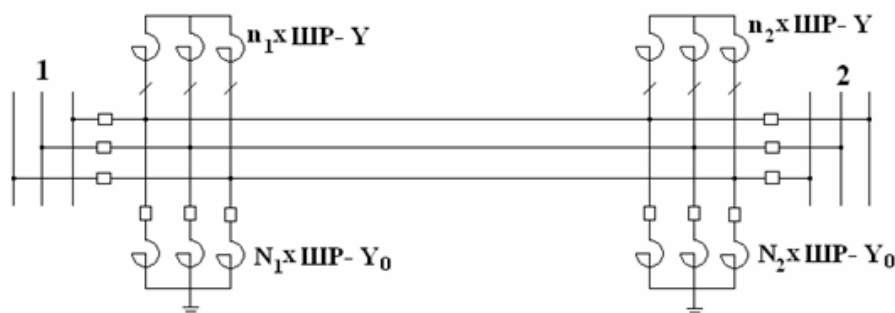


Рисунок 2 – Комбинированная поперечная компенсация

емкостей линии. В результате в цикле ОАПВ отпадает необходимость в использовании компенсационных реакторов. А для снижения тока дуги подпитки в паузу ОАПВ достаточно подключения лишь одной фазы ШР- Y_0 , одноименной с фазой, на которой произошло КЗ, в силу чего уровень напряжения на здоровых фазах не снижается.

Мощность незаземленного реактора ШР- Y составляет ориентировочно 25% от мощности основного ШР- Y_0 . А это означает, что установка таких реакторов будет соответствующим образом повышать степень компенсации линии, что благоприятно скажется на работе существующих недокомпенсированных линий СВН.

Для ликвидации повреждений на ВЛ СВН широко используется ОАПВ. Преимуществом ОАПВ по сравнению с ТАПВ является то, что коммутируется лишь аварийная фаза, а по здоровым фазам сохраняется передача мощности, что повышает уровень динамической устойчивости. Особенно это важно при больших нагрузках электропередачи.

В нормальных режимах при передаче значительных мощностей шунтирующие реакторы ШР- Y_0 , как правило, отключены от линии электропередачи реакторными выключателями по условиям режима напряжений. Для обеспечения условий успешного гашения дуги подпитки необходимо ввести в работу шунтирующие реакторы и компенсационные реакторы в их нейтралях, что связано с коммутацией большого числа фаз выключателей (рисунок 3). При этом отказ любой фазы одного из выключателей приводит к невозможности проведения ОАПВ, что усугубляет аварийную ситуацию и тем самым снижает надежность работы.

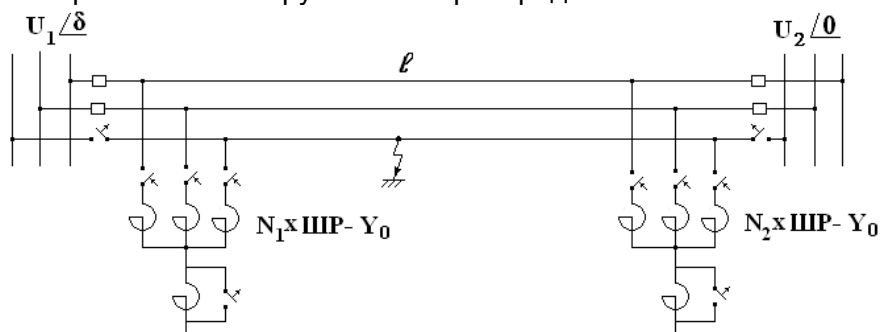


Рисунок 3 – Схема осуществления ОАПВ в линии СВН при традиционной компенсации

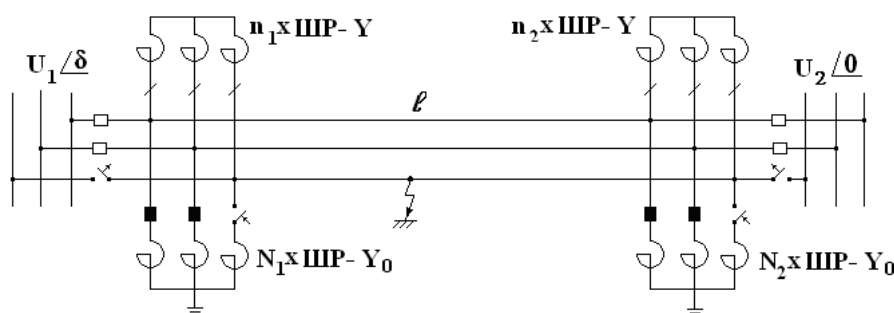


Рисунок 4 – Схема осуществления ОАПВ в линии СВН при комбинированной компенсации

Кроме того, следует иметь в виду, что компенсационный реактор, включаемый в нейтраль шунтирующего реактора ШР- Y_0 , обеспечивает снижение во время паузы ОАПВ составляющей тока подпитки, обусловленной электростатическими связями между поврежденной и рабочими фазами линии, и оказывает неблагоприятное влияние на ограничение составляющей тока подпитки, вызванной электромагнитными связями между поврежденной и рабочими фазами в силу того, что уменьшается примерно на четверть проводимость шунтирующего реактора ШР- Y_0 на землю из-за включения в его нейтраль компенсационного реактора. В то же время в процессе динамического перехода в паузу ОАПВ происходит увеличение угла между ЭДС примыкающих систем, и соответственно в токе дуги подпитки определяющей становится электромагнитная составляющая.

При комбинированной поперечной компенсации осуществление ОАПВ коренным образом упрощается (рисунок 4). Постоянно подключенные к линии незаземленные реакторы ШР- Y обеспечивают автоматически ограничение электростатической составляющей тока дуги подпитки, а для снижения электромагнитной составляющей достаточно подключения реакторным выключателем лишь одной фазы шунтирующего реактора ШР- Y_0 , одноименной с фазой линии электропередачи, на которой произошло короткое замыкание.

В таблице приведены характерные параметры ОАПВ для линии 750 кВ длиной 450 км для случаев традиционной и комбинированной поперечной компенсации. Необходимая дли-

тельность паузы ОАПВ в зависимости от величины тока дуги подпитки определялась согласно опытным данным [2].

Таблица – Характерные параметры ОАПВ (750 кВ, 450 км)

Тип компенсации	ШР- Y_0		ШР- Y		Степень компенсации, %	Место ОКЗ	Ток дуги подпитки, $A_{\max}$		Длительность паузы ОАПВ, с
	N_1	N_2	n_1	n_2			$\delta = 0$	$\delta = 60^\circ$	
Без компенсации	–	–	–	–	–	начало	115	213	дуга не гаснет
						конец	115	198	
Традиционная компенсация	1	1	–	–	57	начало	60	92	≥ 3
						конец	60	83	
	2	1	–	–	85	начало	35	70	$\geq 1,5$
						конец	34	31	
	2	2	–	–	113	начало	10	24	$\geq 0,5$
						конец	10	24	
Комбинированная компенсация	1	1	2	2	85	начало	4	28	$\geq 0,5$
						конец	4	25	

При традиционной компенсации в случае установки двух шунтирующих реакторов ШР- Y_0 , дающих 57%-ную степень компенсации, длительность паузы ОАПВ будет составлять более 3 с, что является неприемлемым по условию динамической устойчивости. Установка трех шунтирующих реакторов ШР- Y_0 обеспечивает продолжительность паузы ОАПВ порядка 1,5 с. И лишь при четырех шунтирующих реакторах ШР- Y_0 при степени компенсации 113% длительность паузы ОАПВ будет на уровне 0,5 с.

При комбинированной поперечной компенсации успешное гашение дуги подпитки при длительности паузы ОАПВ порядка 0,5 с требует установки меньшей суммарной мощности шунтирующих реакторов (два традиционных шунтирующих реактора ШР- Y_0 и четыре незаземлённых реактора ШР- Y дают 85%-ную степень компенсации).

Выводы.

1 Предлагается комбинированная поперечная компенсация ВЛ СВН, содержащая помимо традиционных шунтирующих реакторов ШР- Y_0 , подключённых к линии реакторными выключателями, также постоянно подсоединённые незаземлённые реакторы ШР- Y по схеме звезды с незаземлённой нейтралью. Мощность незаземлённого реактора ШР- Y рекомендуется принять равной примерно 25% от мощности традиционного шунтирующего реактора ШР- Y_0 .

2 В случае комбинированной компенсации резко упрощается осуществление ОАПВ в линиях СВН. Во-первых, отпадает необходимость в компенсационных реакторах, включаемых в нейтраль шунтирующих реакторов ШР- Y_0 при традиционной компенсации. Во-вторых, для необходимого снижения тока дуги подпитки достаточно подключения лишь одной фазы шунтирующих реакторов ШР- Y_0 (отключённых по условиям нормального режима), одноименной с фазой линии, на которой произошло КЗ. В то время как при традиционной компенсации необходимо подключать все три фазы, что приводит к понижению напряжения на шинах и соответственно снижает уровень динамической устойчивости.

При одинаковой степени компенсации комбинированная компенсация позволяет более эффективно снижать токи дуги подпитки и соответственно иметь меньшую длительность паузы ОАПВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мельников, Н.А. Проектирование электрической части воздушных линий электропередачи 330-500 кВ / Н.А. Мельников, С.С. Рокотян, А.Н. Шеренцис. -М.: Энергия, 1974.
- 2 Проектирование линий электропередачи сверхвысокого напряжения / Под ред. Г.Н. Александрова. -Л.: Энергоатомиздат, 1993. -560 с.
- 3 Беляков, Н.Н. Использование компенсационных реакторов для облегчения условий ОАПВ на высоковольтных линиях / Н.Н. Беляков, В.С. Рашкес, С.Н. Рожавская // Электрические станции. -1975, -№12. -С. 68-72.

4 Патент РФ №2351050. Устройство поперечной компенсации для линии электропередачи / Зильберман С.М., Красильникова Т.Г., Самородов Г.И. -БИ №9, 2009.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: линия сверхвысокого напряжения, шунтирующий реактор, реактор с незаземлённой нейтралью, ОАПВ

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Красильников Евгений Николаевич, генеральный директор ЗАО «СИБЭП»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630027, г. Новосибирск, ул. Дунаевского, 16, корп. 1, ЗАО «СИБЭП»

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМПЕНСИРОВАННЫХ ЧЕТЫРЁХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Т.Г. Красильникова

ASSESSMENT OF RELIABILITY AND EFFICIENCY OF COMPENSATION FOUR-PHASE TRANSMISSION SYSTEM

«Novosibirsk state technical university»

T.G. Krasilnikova

Technical and economic comparison of four-phase transmission systems to traditional three-phase transmission systems and DC transmission systems is given at the decision of a problem of delivery of significant power on long distances.

Keywords: three-phase transmission system, four-phase transmission system, DC transmission system, reliability, efficiency

Даётся технико-экономическое сопоставление четырёхфазных электропередач с традиционными трёхфазными электропередачами и передачами постоянного тока при решении проблемы передачи значительных потоков мощности на дальние расстояния.

Выработка электроэнергии, её передача и распределение во всём мире базируется на трехфазной системе переменного тока. Прогресс в области передачи больших потоков мощности на дальние и сверхдальние расстояния связывается с освоением сверхвысоких напряжений (СВН), совершенствованием конструкций трёхфазных воздушных линий (ВЛ) переменного тока, а также использованием передач постоянного тока (ППТ).

Новые разработки в области трёхфазных ВЛ позволяют увеличить их натуральную мощность в два и более раза по сравнению с натуральной мощностью традиционных трёхфазных ВЛ [1, 2]. Однако значительное увеличение передаваемой мощности на одну цепь приемлемо лишь в случае положительного решения проблемы надёжности. На ВЛ СВН подавляющее число отказов (более 98%) являются однофазными. Порядка 50% из них являются дугowymi и могут ликвидироваться в цикле однофазного автоматического повторного включения. В случае устойчивых однофазных повреждений в одноцепных электропередачах (ЭП) повышенной пропускной способности одним из путей повышения надёжности является использование кратковременных и длительных неполнофазных режимов, для чего необходимо оснащение ЭП симметрирующими устройствами. Другой путь повышения надёжности связан с применением ВЛ с резервной фазой, которая в нормальном режиме отключена и используется только вместо аварийной фазы. Очевидным недостатком линий с резервной фазой является недоиспользование суммарного сечения ВЛ в нормальном режиме. В результате экономическая эффективность трёхфазных ЭП повышенной мощности заметно снижается, когда учитываются затраты на мероприятия для удовлетворения требований по надёжности.

К одному из направлений повышения надёжности ЭП СВН относится использование ППТ [3], в которых в случае однополюсных отказов удаётся сохранить 2/3 и половину полной мощности соответственно в кратковременном и длительном унipoлярных режимах. Однако высокая стоимость преобразовательных подстанции, которая в несколько раз превышает стоимость подстанций переменного тока, делает сомнительным такой путь повышения надёжности.

Для решения проблемы передачи больших потоков мощности на дальние расстояния целесообразен переход к четырёхфазной системе переменного тока, поскольку она позволяет существенно улучшить технико-экономические, надёжностные и экологические показатели электропередач [4]. В основе четырёхфазных электропередач (ЧЭП) лежит четырёхфазная уравновешенная симметричная система переменного тока с фазовым сдвигом 90°.

Основные отличительные особенности ЧЭП состоят в том, что:

- она снабжена фазопреобразующими трансформаторами (ФПТ) для преобразования трехфазной системы переменного тока в четырехфазную и обратно;
- фазы четырехфазной линии располагаются на опорах так, что образуют две независимые симметричные двухфазные системы, в каждой из которых токи и напряжения находятся в противофазе, что позволяет повысить натуральную мощность линии и снизить её экологическое влияние;
- для ликвидации наиболее вероятных однофазных повреждений на линии и для проведения её пофазного ремонта предусматривается перевод ЧЭП на трёхфазный режим работы с возможностью передачи полной номинальной мощности.

Преобразование трёхфазного переменного тока в четырехфазный и обратно является принципиально решённой задачей, если иметь в виду известные схемы преобразования трехфазного переменного тока в двухфазный и обратно, например, схему Скотта [5]. Система четырехфазного переменного тока получается из трёхфазной с помощью двух фазопреобразующих трансформаторов Скотта. Первый трансформатор преобразует трёхфазную систему в двухфазную систему с фазовым сдвигом 90° , а второй – в двухфазную систему с противоположным направлением составляющих относительно первой двухфазной системы.

Наиболее эффективная область использования ЧЭП связана с замещением трехфазных ЭП высокого и сверхвысокого напряжения, подключаемых к узловым пунктам сети с помощью автотрансформаторов. ЧЭП содержит в своём составе четырехфазную линию и фазопреобразующие трансформаторы. Фазопреобразующие трансформаторы, которые одновременно осуществляют повышение напряжения на линии до экономически необходимого уровня, являются новым оборудованием для ЧЭП. Все остальное оборудование в силу однофазного исполнения идентично для трехфазных и четырехфазных электропередач и отличается лишь количеством фазных элементов.

Проведем сравнительную оценку эффективности передачи электроэнергии на расстояние 1000 км для случая максимальной передаваемой мощности на отправном конце 3000 МВт. На рисунке показаны сравниваемые варианты, в качестве которых намечены двухполюсная ППТ напряжением ± 500 кВ, двухцепная трёхфазная электропередача напряжением 750 кВ и четырехфазная электропередача с фазным напряжением $750/\sqrt{3}$ кВ.

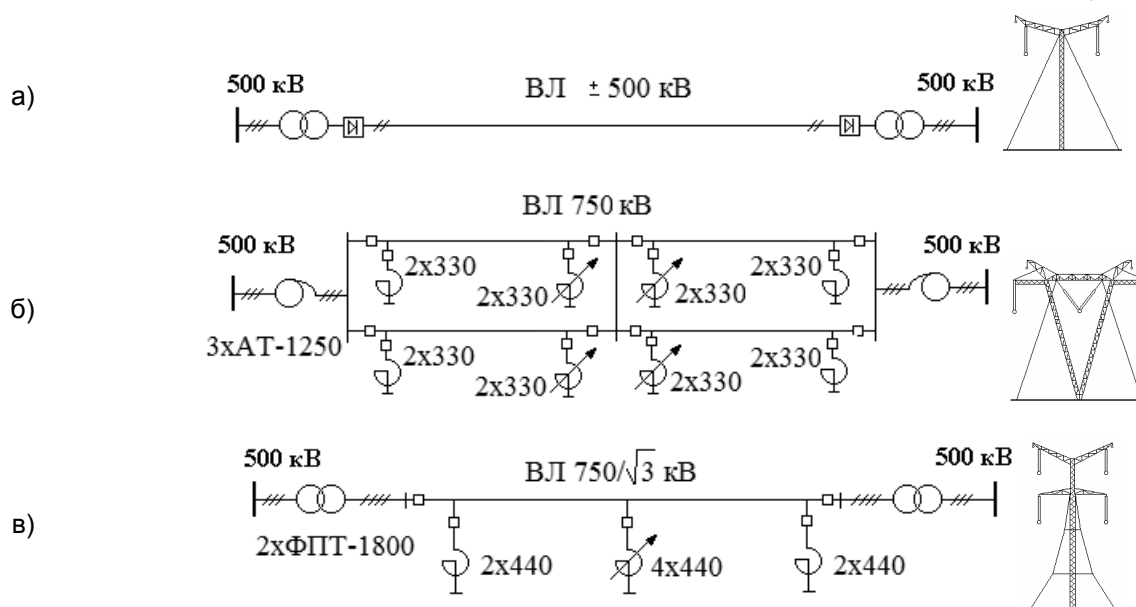


Рисунок – Варианты дальней электропередачи: а)-двухполюсная ППТ; б)-двухцепная трехфазная ЭП; в)-четырёхфазная ЭП

Объективным экономическим показателем для сопоставления вариантов являются удельные приведенные затраты на единицу полезно передаваемой электроэнергии. Приведенные затраты определялись по хорошо известному в дореформенный период соотношению, правомерность использования которого в современных условиях доказана в [6]

$$z_{\text{эл}} = \frac{E_{\text{к}} K_{\text{эл}} + e_{\text{вл}} K_{\text{вл}} + e_{\text{лс}} K_{\text{лс}} + e_{\text{ку}} K_{\text{ку}} + c_3 \Delta \mathcal{E}_{\text{эл}}}{P_{\text{max}} T_{\text{max}}}, \quad (1)$$

где E_k – коэффициент эффективности капиталовложений;
 $K_{эл}$ – капиталовложения в целом на создание электропередачи;
 $e_{вл}, e_{пс}, e_{ку}$ – нормы отчислений на обслуживание линий, подстанций и компенсирующих устройств;
 $K_{вл}, K_{пс}, K_{ку}$ – капиталовложения на строительство линий, подстанций и компенсирующих устройств;
 $c_э$ – стоимость потерянной электроэнергии;
 $\Delta \mathcal{E}_{эл}$ – годовые потери электроэнергии в электропередаче;
 $P_{\max}, T_{\max}$ – максимальная мощность на приемном конце электропередачи и число часов ее использования.

При этом коэффициент эффективности капиталовложений при длительности сооружения ЭП в 7 лет и сроке ее службы, принятом 40 годам, составил $E_k = 0,177$. При сравнении рассматриваемых вариантов также было принято: $e_{вл} = 0,008$; $e_{пс} = e_{ку} = 0,049$; $c_э = 0,02$ \$/(кВт·ч); $T_{\max} = 6000$ ч.

При решении технико-экономических задач, особенно перспективного характера, возникает потребность выразить стоимость линии через такие ее параметры, которые могут служить также для определения потерь мощности и энергии:

$$K_{вл} = K_0 + \nu_F F + \nu_L L, \quad (2)$$

где K_0 – постоянная составляющая затрат;
 ν_F, ν_L – коэффициенты при составляющих стоимости, определяемых сечением и периметром фазы (полюса);
 F – сечение фазы по алюминию;
 L – периметр фазы,

$$L = 2\pi n r;$$

n, r – число и радиус составляющих проводов фазы (полюса).

Коэффициенты выражения (2) зависят от рода тока, класса напряжения ВЛ, и их значения применительно к рассматриваемым вариантам линий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты для определения удельной стоимости ВЛ

Тип ВЛ	Напряжение, кВ	K_0 , тыс. \$/км	ν_F , тыс. \$/(мм ² ·км)	ν_L , тыс. \$/(см·км)
Трёхфазная ВЛ переменного тока	750	90	$41,5 \cdot 10^{-3}$	1,28
Четырёхфазная ВЛ	$750/\sqrt{3}$	68	$83,2 \cdot 10^{-3}$	1,89
Биполярные ВЛ постоянного тока	± 500	68	$39,6 \cdot 10^{-3}$	0,90

Таблица 2 – Сопоставительный анализ технико-экономических показателей вариантов электрической связи при передаче 3000 МВт на расстояние 1000 км

Показатели		Двухполюсная ППТ	Двухцепная трёхфазная ЭП	Четырёхфазная ЭП
Номинальное напряжение, кВ		±500	750	750/√3
Конструкция фазы (полюса), мм ²		3×1200	5×300	5×400
КПД по энергии, %		94,4	94,5	94,3
Удельная стоимость ВЛ, тыс. \$/км		250	401 (на две цепи)	316
Стоимость, млн. \$	линия	250	401	316
	подстанции	540	135	130
	компенсирующие устройства	–	97	65
	всего	790	633	511
Приведенные затраты, млн. \$/год		188	146	123
Удельные приведенные затраты	\$(/кВт·ч)	0,01110	0,00860	0,00725
	%	129	100	84

Удельные стоимости трёхфазных подстанций 750 кВ и четырёхфазных подстанций переменного тока рассчитывались согласно методики, изложенной в [7], и составили соответ-

ственно для трёхфазной подстанции 16 \$/кВА и для четырёхфазных подстанции 18 \$/кВА. Удельная стоимость преобразовательных подстанций напряжением ± 500 оценивалась величиной 90 \$/кВт, что находится в соответствии с зарубежными данными [3].

В качестве компенсирующих устройств используются неуправляемые и управляемые шунтирующие реакторы. По данным [8] стоимость трёхфазного неуправляемого реактора напряжением 750 кВ и мощностью 330 Мвар (с учётом выключателя) составляет 5 млн. \$, а управляемого реактора – 7,2 млн. \$. Стоимость четырёхфазных реакторов соответственно увеличивается в 4/3 раза.

Основные стоимостные показатели вариантов, определённые в базисных ценах 2000 г., сведены в таблице 2, из которой следует, что с экономической позиции ЧЭП является более предпочтительным вариантом для решения проблемы передачи значительных мощностей на дальние расстояния. Учитывая высокие показатели надёжности и экологические характеристики ЧЭП, следует рассматривать эту технологию как одно из важнейших направлений в области дальней передачи электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Курносов, А.И. Воздушные линии электропередачи 1150 кВ с повышенной натуральной мощностью и пропускной способностью / А.И. Курносов, Ю.И. Лысков, Н.Н. Тиходеев: Сб. научных трудов. НИИПТ, 1985. -С. 6-20.
 - 2 Александров, Г.Н. Передача электрической энергии переменным током / Г.Н. Александров. -М.: Энергоатомиздат, 1990. -176 с.
 - 3 CIGRE WG14.20 (2001), «Economic assessment of hvdc links», -71 p.
 - 4 Самородов, Г.И. Четырёхфазные электропередачи / Г.И. Самородов // Изв. РАН.- Сер. «Энергетика». -1995. -Вып.6. -С. 101-109.
 - 5 Варфоломеев, Г.Н. Схема Скотта: история и перспективы совершенствования (к 100-летию создания) / Г.Н. Варфоломеев // Электричество. -1994. -№10. -С. 77.
 - 6 Красильникова, Т.Г. Модифицированные критерии для оценки экономической эффективности энергетических объектов / Т.Г. Красильникова // Изв. РАН «Энергетика», -2010.
 - 7 Зильберман, С.М. Сверхдальние электропередачи полуволнового типа / С.М. Зильберман, Г.И. Самородов. -Новосибирск: НГАВТ, 2010. -327 с.
 - 8 Укрупненные стоимостные показатели электрических сетей // Стандарт организации ОАО «Энергосетьпроект». -М., 2007.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *трёхфазная электропередача, четырёхфазная электропередача, передача постоянного тока, надёжность, экономическая эффективность*
- СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Красильникова Татьяна Германовна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»*
- ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»*

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ СО СДВОЕННЫМ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИМ РЕАКТОРОМ И С ИЗОЛИРОВАННОЙ ИЛИ ЗАЗЕМЛЁННОЙ ЧЕРЕЗ РЕЗИСТОР НЕЙТРАЛЬНО

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
 ООО «Газпром трансгаз Сургут»
 ООО «ПНП БОЛИД»
 ОАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Урала»

Ю.М. Денчик, В.В. Гоголюк, Л.И. Сарин, И.Н. Дмитриев, А.И. Ширковец

SYSTEM OF REGISTRATION OF PROCESSES SINGLE-PHASE SWITCH ON THE GROUND IN A NETWORK OF AN AVERAGE PRESSURE WITH DUAL ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИМ A REACTOR AND WITH A NEUTRAL ISOLATED OR EARTHED THROUGH THE RESISTOR

«Novosibirsk state academy of water transport»
 «Gazprom transgaz Surgut»
 «PNP BOLID»
 «Inter-regional distributive network company of Ural»
 Yu.M. Denchik, V.V. Gogolyuk, L.I. Sarin, I.N. Dmitriev, A.I. Shirkovets

The measurement technique of switching pulse pressure and resonances of the maximum harmonious components of a current of single-phase short circuit on the ground is offered.

Keywords: switching impulse voltages, resonance, the quality of the networks of medium voltage, waveform

Предложена методика измерений коммутационных импульсных напряжений и резонансов высших гармонических составляющих тока однофазного замыкания на землю.

Качество функционирования сетей среднего напряжения (сети напряжением от 6 до 35 кВ) с изолированной нейтралью, содержащих сдвоенные токоограничивающие реакторы, не удовлетворяет требованиям эксплуатации. Основной причиной, вытекающей из анализа актов технологических нарушений и аварий электросетевых распределительных компаний, являются однофазные замыкания на землю, которые обуславливают кондуктивные электромагнитные помехи (ЭМП), распространяющиеся по проводам. Эти ЭМП негативно влияют на сети как рецепторы: возрастают вероятности повреждения изоляции фаз при дуговых замыканиях на землю (ОДЗ) и перехода их в междуфазные короткие замыкания, появляются резонансы высших гармонических составляющих тока металлического замыкания фазы на землю (ОЗЗ) и наблюдаются феррорезонансные явления и т.д. Выделяются тяжёлые аварийные ситуации в сетях 10 кВ со сдвоенными токоограничивающими реакторами, приводящие к пробое изоляции вторичных обмоток силовых понижающих трансформаторов 110/10 кВ узлов нагрузок ферросплавных заводов [1].

Для разработки рекомендаций по повышению качества функционирования сетей среднего напряжения необходимо осуществлять мониторинг электромагнитной обстановки (ЭМО) на основе измерений параметров резонансных процессов и кондуктивных коммутационных импульсных помех. При этом кондуктивная коммутационная импульсная помеха представляется электромагнитной помехой в виде одиночного импульса, последовательности или пачки импульсов, возникающая при процессах коммутации тока и напряжения в сети и распространяющаяся по проводам. Электромагнитный же импульс отображает изменение уровня ЭМП в течение времени, соизмеримого со временем установления переходного процесса.

Система регистрации переходных процессов. Современный уровень развития средств вычислительной и измерительной техники позволяет построить систему регистрации процессов однофазных замыканий на землю на основе аналога – цифровых преобразователей (АЦП) и компьютера [2]. Эта система включает следующий комплекс аппаратуры:

- датчик напряжения и тока;
- кабели связи (передачи информации);
- платы АЦП или цифровые осциллографы (ЦЗО);
- персональный компьютер с программным обеспечением, позволяющим осуществлять обработку и анализ параметров записанных процессов (виртуальная лаборатория).

При этом рекомендуется использовать комплексный подход, который заключается в следующем [1]:

- осциллографируются фазные напряжения и токи замыкания на землю, что позволяет после конвертации проводить их дальнейшую математическую обработку во внешних программных пакетах;
- определяются гармоники основной частоты и их гармонические составляющие;
- анализируются полученные результаты.

В качестве базового примера применения системы регистрации, собранной с учётом изложенной концепции, представляется схема регистрации тока металлического и дугового ОЗЗ и фазных напряжений в трёх точках сети 10 кВ (рисунок), которая прошла апробирование в ПО «Серовские электрические сети» (подстанция 110/10 кВ «Ферросплав») [1-3]. В нормальном режиме секции 10СШ 10 кВ и 11СШ 10 кВ получают питание от трансформатора Т-6 типа ТДНГУ-63000/110. Ввод напряжения на каждую секцию осуществляется от одного из нижних плеч сдвоенного токоограничивающего реактора типа РТСТСГ 10-2×2500-0,2У1, верхнее плечо которого жёсткой ошинковкой пофазно соединяется с выводами обмотки 10 кВ питающего трансформатора. Расчётные значения ёмкостных токов однофазного замыкания на землю составляют на 10СШ 8,89 А, а на 11СШ – 7,06 А.

Измерения ёмкостных токов проводилось в соответствии с методом искусственного замыкания фазы сети на землю, изложенном в инструкции [4].

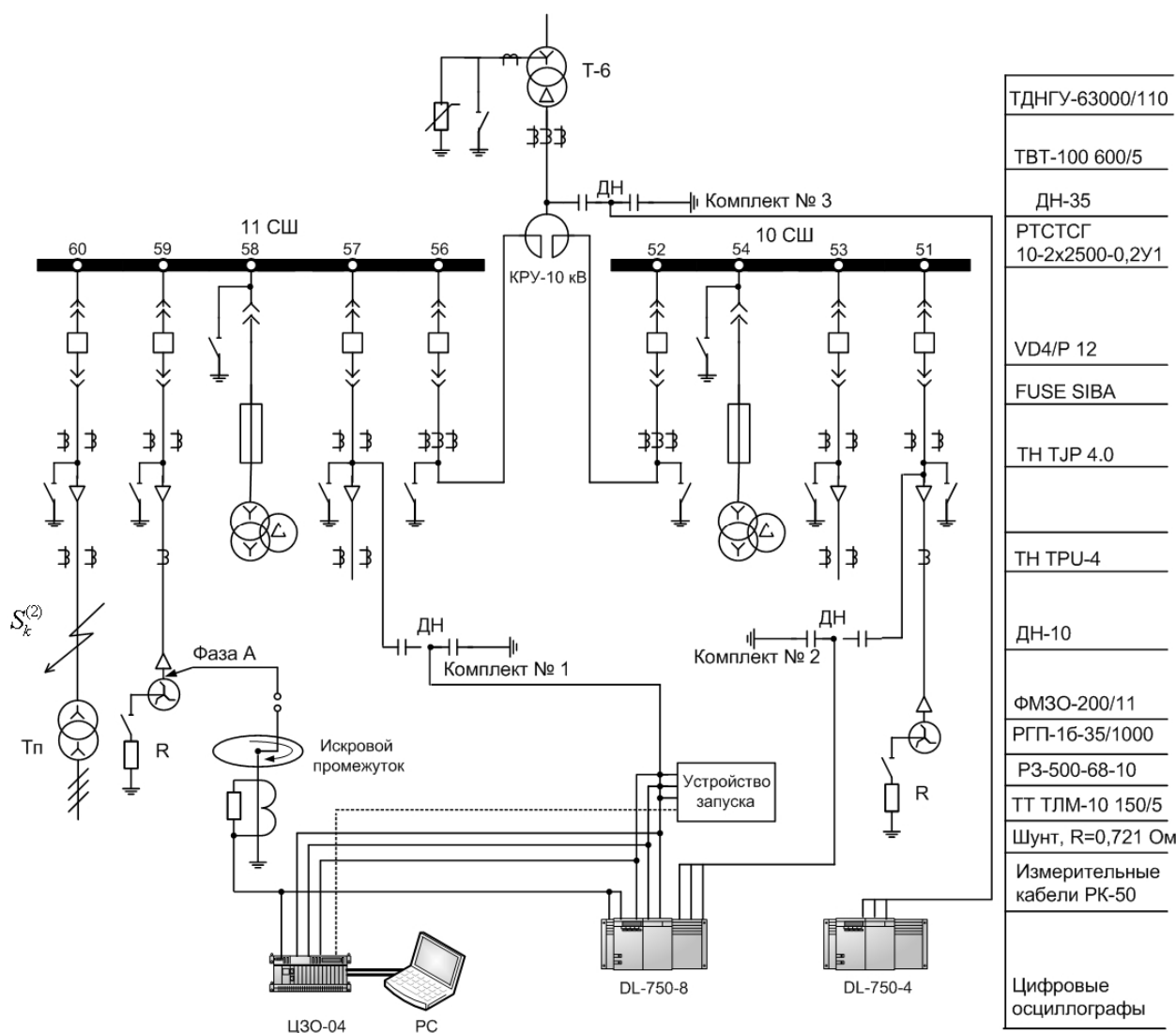


Рисунок – Схема подключения оборудования для регистрации токов металлического и дугового замыканий фазы на землю и фазных напряжений в сети 10 кВ со сдвоенным токоограничивающим реактором с изолированной или заземлённой через резистор нейтралью

Данный метод является прямым и позволяет наиболее точно замерять фактические величины тока однофазного замыкания на землю для текущей конфигурации сети. Не представляет опасности для изоляции оборудования, которое испытывалось в соответствии с нормативными требованиями [4].

Для создания однофазных дуговых замыканий (ОДЗ) на землю используется искровой промежуток (ИП) с шаровыми медными электродами определённого (рассчитанного) диаметра. Расстояние между электродами устанавливается таким образом, чтобы обеспечить пробой воздушного промежутка при прохождении подвижного электрода под неподвижным (рисунок). За счёт заданной скорости вращения подвижного электрода (один оборот за 5 с) обеспечивалось горение перемещающейся (прерывистой) дуги при схождении – расхождении электродов, а также определённое количество циклов возникновения дуги [2].

На период проведения опытов с целью быстрого отключения места искусственного замыкания (в случае возникновения замыкания во втором месте) уставки по току и времени защиты фидера ячейки 59 11СШ 10 кВ выставляются минимальными (максимально токовая защита от ОЗЗ, $I_{c.з} = 30$ А; время отключения 0,05 с).

Дуговое замыкание фазы на землю возникает после включения выключателя ячейки 59 11СШ 10 кВ и привода ИП. Команда на вращение нижнего электрода подаётся дистанционно с безопасного расстояния (не менее 8 м от ИП).

Для организации искусственного металлического однофазного замыкания на землю на присоединении ячейки 59 11СШ 10 кВ фаза А ввода фильтра типа ФМ30 соединяется с помощью провода с верхним плечом (неподвижного электрода) искрового промежутка. Нижнее

плечо ИП с подвижным электродом соединяется с помощью стандартного комплекта переносной закоротки, рассчитанной на ток трёхфазного короткого замыкания, с системой заземления подстанции.

Металлическое ОЗЗ создаётся после включения выключателя ячейки 59 11СШ 10 кВ и подачи напряжения по всем фазам фидера ФМЗО путём смыкания электродов без их циклического вращения. Команда на замыкание электродов и создание тем самым металлического ОЗЗ подаётся также дистанционно.

В качестве датчика тока используется трансформатор тока (ТТ). Датчик тока должен иметь линейную амплитудно-частотную характеристику, чтобы обеспечить требуемый частотный диапазон для записи сигнала (таблица).

Существующие стандартные ТТ типа ТМ-10 2У3 150/5 по своим частотным характеристикам пригодны для записи сигналов тока с высокочастотными составляющими с верхней границей 5 кГц и могут применяться наряду с токовыми датчиками Холла. Последним требуется отдельный источник питания, что не всегда удобно.

Класс точности используемого трансформатора тока составляет 0,5. Номинальное значение тока первичной обмотки ТТ превышает максимально ожидаемый ток ОЗЗ. От выводов вторичной обмотки ТТ, зашунтированной сопротивлением 0,721 Ом, с помощью измерительного кабеля типа РК-50 длиной 10 м сигнал подаётся на один из входов цифрового осциллографа для записи тока замыкания фазы на землю. Максимально допустимый уровень искажений, вносимый кабелем связи, не превышает 0,5%.

Размещение установки оборудования при проведении экспериментов в сети 10 кВ указаны в таблице.

Таблица – Места установки экспериментального оборудования в исследуемой сети 10 кВ

Подключаемое в первичные цепи оборудование	Снимаемый сигнал	Место установки
Трансформатор тока ТЛМ-1 150/5	ток однофазного замыкания на землю	ячейка 59, фаза А
ДН-10, комплект №1	фазные напряжения на 11СШ 10 кВ	ячейка 51, фазы А,В,С
ДН-10, комплект №2	фазные напряжения на 10СШ 10 кВ	ячейка 57, фазы А,В,С
ДН-35, комплект №3	фазные напряжения на шинном мосту «Т-6-РТСТСГ» 10 кВ	шинные вводы фаз А,В,С реактора

Во время проведения опыта однофазного замыкания на землю также выполняется осциллографирование фазных напряжений в трёх точках сети. Осциллографирование фазных напряжений производится с помощью трёх комплектов высоковольтных делителей напряжения (ДН):

– на шинном мосту подключаются ёмкостные делители напряжения с изоляцией уровня 35 кВ (ДН-35, коэффициент деления $12700 \pm 2,5\%$, комплект №3) для регистрации напряжения на шинах между силовым трансформатором Т-6 и токоограничивающим реактором типа РТСТСГ;

– в кабельном отсеке ячейки 57 11СШ подключаются ёмкостные делители напряжения с изоляцией уровня 10 кВ (ДН-10, коэффициент деления $4860 \pm 2,5\%$, комплект №1) для регистрации напряжения на шинах 10 кВ 11СШ);

– в кабельном отсеке ячейки 51 10СШ подключаются ёмкостные делители напряжения с изоляцией уровня 10 кВ (ДН-10, коэффициент деления $3700 \pm 2,5\%$, комплект №2) для регистрации напряжения на шинах 10 кВ 10СШ.

Указанные ДН характеризуются также другими показателями, которые учитываются при выборе:

- максимально допустимое входное импульсное напряжение (при $\tau_n = 0,1-1000$ мкс; $f_n = 50$ Гц; $t = 25^\circ\text{C}$) 100 кВ;
 - номинальный диапазон рабочих частот 20-1·10⁶ Гц;
 - активное сопротивление нагрузки не менее 1·10⁶ Ом;
 - ёмкостное сопротивление нагрузки не более 1·10⁻⁹ Ф;
 - интервал рабочих температур от -20 °С до 40 °С.
- при относительной влажности не более 90%

Для осциллографирования токов замыкания фазы на землю и коммутационных импульсных напряжений используются цифровые осциллографы. Осциллограф типа Ц30-04 USB (ЗАО «Руднев-Шиляев», Россия), сопряжённый с персональным компьютером, обеспечивает визуальное наблюдение, запоминание в цифровой форме и измерение амплитудно-временных параметров периодических и непериодических электрических сигналов, в том числе однократных импульсов, в динамическом диапазоне от 4 мВ до 25 В, в полосе частот, определяемой частотой дискретизации, максимальное значение которой составляет 100 МГц при работе в режиме 4-х каналов.

Используются также два осциллографа и регистратора типа DL-750 Scope Corder (Yokogawa Electric Corporation, Япония) – четырёх и восьми канальный. Цифровой осциллограф DL-750-8 – многоканальная компьютеризированная система сбора, обработки и хранения данных, восемь аналоговых каналов, максимальная частота выборки 10 МВ 5/с, память – 25 млн. точек на канал, вертикальное разрешение 12 бит, встроенный принтер, PC card, USB, GP-IB, RS232, SCSI, Ethernet, встроенный жёсткий диск 30 Гбайт. Этот прибор отвечает всем требованиям, когда необходимо проводить многочисленные измерения по нескольким измерительным каналам.

Осциллографы подключаются к низковольтным плечам ДН измерительными кабелями типа РК-50 длиной не более 15 м.

Программное обеспечение используемых цифровых осциллографов и внешние пакеты программ (например, Matlab) позволяют выполнить обработку полученных осциллограмм токов и напряжений для определения гармонического состава и амплитуд.

Резистивное заземление нейтрали сети реализуется на базе двух защитных резисторов типа РЗ-500-68-10 УХЛ1 (номинальные параметры: сопротивление – 500 Ом, мощность – 68 кВт, класс напряжения – 10 кВ, производитель ООО «ПНП Болид», г. Новосибирск). Каждый из резисторов включается в нейтраль специального фильтра типа ФМЗО-200/11 УХЛ1 (ОАО «РЭТЗ «Энергия», г. Раменское).

Основные результаты, полученные в рамках проведённых исследований:

1 Сдвоенный токоограничивающий реактор серии РТСТСГ в сети 10 кВ с изолированной или заземлённой через резистор нейтралью изменяет электромагнитную обстановку [5]:

- при однофазном замыкании на землю (дуговое, металлическое) в верхнем плече реактора наблюдаются значительные высокочастотные коммутационные импульсные напряжения (кратности находятся в пределах от 4,93 до 5,15), которые превышают в 1,5–2,5 раза эти напряжения на нижних плечах;

- при переходе однофазного дугового замыкания в двухфазное короткое замыкание на землю на верхнем плече реактора кратности коммутационных импульсных напряжений возрастают до 6,23.

2 Обнаружены параллельные резонансы высших гармонических составляющих тока металлического замыкания фазы на землю в сети 10 кВ с изолированной нейтралью. С увеличением ёмкостного тока сети резонансная частота смещается в область более низких частот.

3 Для повышения качества функционирования сети 10 кВ со сдвоенным токоограничивающим реактором серии РТСТСГ рекомендуется резистивное заземление нейтрали [5]. Включение двух резисторов типа РЗ-500 (см. рисунок):

- снижает коммутационные импульсные напряжения при дуговом замыкании фазы на землю на плечах сдвоенного реактора в 1,2 раза;

- дуга становится устойчивой при отношении активной составляющей тока к ёмкостной равном 1,8-2,5.

При этом необходимо: выполнять направленную защиту от однофазных замыканий на землю с выдержкой времени для отстройки от бросков ёмкостного тока, нелинейные ограничители перенапряжений на нижних и верхнем плечах сдвоенного токоограничивающего реактора выбирать с учётом приведённых выше кратностей коммутационных импульсных напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Сарин, Л.И. Комплексный подход к выбору средств ограничения перенапряжений в сетях 6-10 кВ крупных промышленных предприятий целлюлозно-бумажной и металлургической промышленности / Л.И. Сарин, М.В. Ильиных // Ограничение перенапряжений. Режимы за-

земления нейтрали. Электрооборудование сетей 6-35 кВ: тр. 4-й Всеросс. науч.-техн. конф. - Новосибирск, 2006. -С. 55-62.

2 Ширковец, А.И. Методические подходы к осциллографированию процессов при однофазных замыканиях на землю в электрических сетях 6-35 кВ / А.И. Ширковец [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. Спецвыпуск. -2008. -№1. -С. 44-51.

3 Дмитриев, И.Н. Электромагнитная обстановка в сети 10 кВ с изолированной нейтралью как рецептора / И.Н. Дмитриев, Ю.М. Иванова [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2008. -№2. -С. 242-247.

4 ТИ 34-70-070-087. Типовая конструкция по компенсации ёмкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6-35 кВ. -М.: ПО «Союзтехэнерго», 1988. -55 с.

5 Иванова, Ю.М. Исследование качества функционирования электрической сети 10 кВ с различными режимами работы нейтрали / Ю.М. Иванова [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2010. -№1. -С. 57-61.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коммутационные импульсные напряжения, резонансы, качество функционирования сетей среднего напряжения, осциллограммы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФГОУ ВПО «НГавт»
Гоголюк Владимир Васильевич, ведущий инженер ООО «Газпром трансгаз Сургут»
Сарин Леонид Иванович, директор ООО ПНП «Болд»
Дмитриев Игорь Николаевич, канд. техн. наук, начальник департамента эксплуатации и мониторинга основных средств ОАО «МРСК Урала»
Ширковец Андрей Игоревич, ведущий инженер ООО ПНП «Болд»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630009, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»
628412, г. Сургут, ул. Университетская, 1, ООО «Газпром трансгаз Сургут»
630015, г. Новосибирск, ул. Электrozаводская, 2, корп. 6, ООО ПНП «Болд»
820026, г. Екатеринбург, ул. М. Сибиряка, 140, ОАО «МРСК Урала»

ПОСТРОЕНИЕ НЕЙРОННОЙ РАСПОЗНАЮЩЕЙ СЕТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОРРОЗИОННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

В.А. Кандаев, П.К. Шкодун, К.В. Авдеева

**CONSTRUCTION OF NEURAL RECOGNIZING NETWORK FOR STATE VALUE OF UNDERGROUND CORROSION OF
CONCRETE POLE OF CONTACT SYSTEM**

«Omsk state transport university»

V.A. Kandaev, P.K. Shkodun, K.V. Avdeeva

The neural recognizing network is constructed, this network allows to define the degree of underground corrosion of concrete pole of contact system by means of analysis of electrochemical parameters.

Keywords: concrete pole, defect category, contact system, corrosion, neural network

Построена нейронная распознающая сеть, позволяющая по электрохимическим параметрам железобетонной опоры контактной сети определить коррозионное состояние ее подземной части.

В условиях работы электрифицированного на постоянном токе железнодорожного транспорта, где обратным проводом служит рельс, опоры контактной сети находятся в зоне высокой плотности блуждающих токов и при определенных условиях подвергаются их воздействию. В случае выхода из строя изолирующих элементов, которые в исправном состоянии обеспечивают электрическую изоляцию арматурного каркаса опоры от металлических деталей контактной сети, арматура опоры интенсивно корродирует. В результате это может привести к падению опоры, что влечет за собой непредсказуемые последствия.

Для своевременного выявления коррозионных повреждений и оценки текущего состояния опор контактной сети существует метод [1], используя который получают электрохимические параметры опоры: сопротивление бетона, сопротивление и емкость границы раздела «арматура – бетон», которые однозначно характеризуют коррозионное состояние подземной части опоры.

Анализ результатов измерений по методу [1], выполненных на опорах контактной сети, электрифицированной на постоянном токе, позволил разделить все опоры на четыре категории дефектности в зависимости от значения электрохимических параметров. В качестве

математической модели, позволяющей определить коррозионное состояние опоры по значениям данных параметров, в результате анализа различных алгоритмов принятия решения [2] были выбраны искусственные нейронные сети.

Особенность применения нейронных сетей состоит в возможности построения моделей, для которых достаточно сложно установить строгое формальное описание внутренних процессов объекта.

Совокупность нейронов, объединенная между собой, представляет собой нейронную сеть (рисунок 1), причем активационные функции всех нейронов одинаковы, при этом коэффициенты связей (веса) могут изменяться в процессе обучения. Нейронная сеть имеет ряд входных параметров и ряд выходных, таким образом, она представляет собой преобразователь значений нескольких входных векторов в один выходной.

Задача построения искусственной нейронной сети для оценки текущего коррозионного состояния подземной части опоры контактной сети сводится к получению функции категории ее дефектности в зависимости от ряда входных параметров. При этом интерес представляет получение значения выходной функции в непрерывном, а не в дискретном виде.

Построение нейронной сети производится путем выбора архитектуры сети (выбор и назначение входов и выходов, вида функции нормализации входных данных и денормализации – выходных величин, построение внутренней топологии) и последующего обучения нейронной сети.

В настоящее время разработано большое количество вариантов построения сетей, в том числе многослойный персептрон, нейросеть с общей регрессией, сети Кохоннена и др. С точки зрения топологии можно выделить три основных типа сетей: полносвязные сети, многослойные сети и слабосвязные сети.

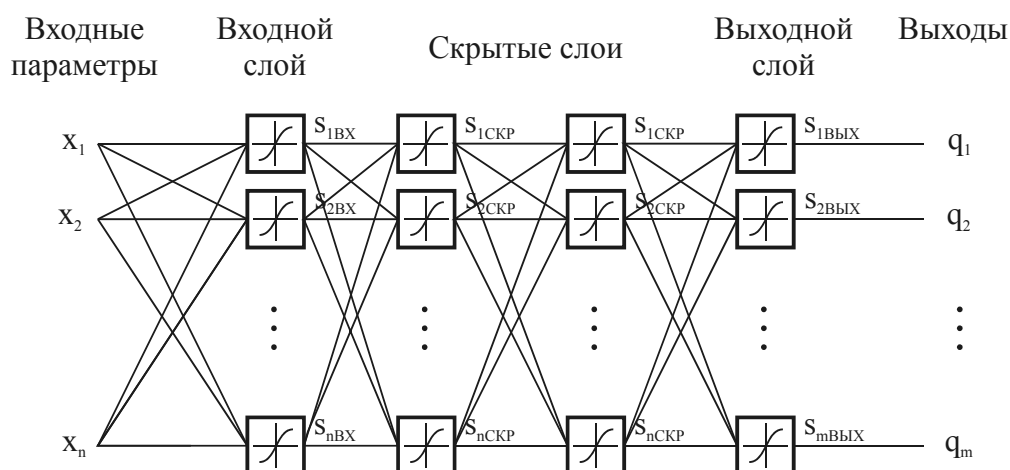


Рисунок 1 – Топология нейронной распознающей сети

Выбор структуры нейронной сети производится с учетом особенностей и сложности задачи. В данном случае задача сводится к следующей математической постановке: следует выполнить многомерное функциональное преобразование, для чего следует получить отображение входного вектора в выходной таким образом, чтобы на каждый возможный входной вектор формировался правильный ответ в виде выходного сигнала. Число обучающих примеров существенно меньше числа возможных сочетаний значений входных и выходных сигналов. В результате следует добиться минимального значения ошибки как при предъявлении обучающей выборки, так и тестовой (валидационной). Второе требование в значительной степени усложняет задачу формирования обучающей выборки, причем в общем виде эта задача не решена, однако найдены частные решения для всех известных случаев.

В работе [3] приведено утверждение, согласно которому для любого множества пар входных-выходных векторов произвольной размерности существует двухслойная однородная нейронная сеть с последовательными связями, с сигмоидальными передаточными функциями и с конечным числом нейронов, которая для каждого входного вектора формирует соответствующий выходной вектор.

Создание сети предполагает определение числа нейронов в скрытых слоях. Для этого можно воспользоваться выражениями, приведенными в [3]. Необходимое число синаптических

ских весов рассчитывают по выражению

$$\frac{mN}{1+\log_2 N} \leq L_w \leq \left(\frac{N}{m}+1\right)(n+m+1)+m, \quad (1)$$

где n – размерность входного сигнала;
 m – размерность выходного сигнала;
 N – число элементов обучающей выборки.

Получив значение числа весов по выражению (1), можно определить число нейронов в скрытых слоях. Для двухслойной сети выражение принимает следующий вид

$$L = \frac{L_w}{n+m}. \quad (2)$$

Известны и другие выражения, например, вида:

$$2(L+n+m) \leq N \leq 10(L+n+m); \quad (3)$$

$$\frac{N}{10} - n - m \leq L \leq \frac{N}{2} - n - m. \quad (4)$$

Аналогично можно определить число нейронов в сетях с большим числом слоев, которые иногда целесообразно использовать, поскольку такие сети могут иметь меньшую размерность матриц. Отметим, что в настоящее время строгая методика построения данных сетей пока не разработана.

Входные и выходные параметры нейронной сети в нашем случае являются количественными. К количественным входными величинами являются сопротивление бетона R_b , сопротивление границы раздела R_{ep} , емкость границы раздела «арматура-бетон» C_{ep} , стационарный потенциал арматуры U_{cm} и значение дифференциального сопротивления dr . Количественное выходное значение – категория дефектности в виде непрерывной величины, отражающей реакцию нейронной сети на поданные на ее вход сигналы.

Поступающие на вход количественные диагностические параметры имеют непрерывное представление в произвольном масштабе. Для решения задачи масштабирования применяются различные способы нормализации. В качестве рабочей методики использовалась линейная нормализация, для которой нормировочная функция выглядит следующим образом

$$x^* = \frac{x - x_{cp}}{x_{\max} - x_{cp}}, \quad (5)$$

где x^* – нормированное значение;
 x – входной диагностический параметр;
 x_{cp} – среднее значение диагностического параметра;
 $x_{\max}$ – минимальное значение диагностического параметра.

Эффективное использование интервала достигается при равномерной плотности распределения диагностического параметра. Для построения векторов входных изображений и соответствующих им категориям дефектности опоры обработаны 23 пары значений.

Выходное значение категории было денормализовано из интервала от нуля до единицы в интервал от единицы до четырех по выражению

$$x = Yk + b, \quad (6)$$

где Y – значение нейрона выходного слоя;
 k – коэффициент, $k = 3$;
 b – постоянное смещение, $b = 1$.

Используя выражения (1)-(4) для рассматриваемого случая ($n = 5$, $m = 1$, $N = 23$), получаем, что количество нейронов в скрытом слое сети может находиться на интервале от 1 до 28 (используется выражение (2)), либо от 1 до 6 (по формуле (4)). Окончательный выбор количества нейронов скрытого слоя определяется на основании предварительного обучения нейронной сети путем оценки изменения величины ошибки. В качестве активационной использовалась сигмоидальная функция, выбор которой основан на ее свойствах, приведенных ранее: дифференцируемость на всей оси значений, непрерывность. В результате проведенных исследований предложено использовать три нейрона в скрытом слое. Таким образом, сформирована топология нейронной сети с пятью входными параметрами, тремя нейронами в скрытом слое и одним нейроном в выходном слое. Результаты построения нейронной сети для определения коррозионного состояния подземной части опор контак-

ной сети приведен на рисунке 2.

Разработанная нейронная сеть может находиться в трёх состояниях: обучения на случайной выборке эталонных изображений, проверки (валидации) – контроля адекватности функционирования сети и диагностирования – основного режима работы сети.

Рассмотрим процесс обучения нейронной сети применительно к диагностированию коррозионного состояния подземной части опор контактной сети. Задача обучения сети сводится к нахождению некоторой функциональной зависимости, связывающей входные диагностические параметры и выходные.

Математически процесс обучения можно описать следующим образом. В процессе функционирования нейронная сеть формирует выходной сигнал Y в соответствии с входным сигналом X , реализуя некоторую функцию $Y = G(X)$. Если топология сети задана, то вид функции G определяется значениями синаптических весов и смещений сети. Пусть решением некоторой задачи является функция $Y = F(X)$, заданная парами входных-выходных данных $(X^1, Y^1), (X^2, Y^2), \dots, (X^N, Y^N)$, для которых $Y^i = F(X^i)$, $i = 1, 2, \dots, N$.

Обучение состоит в поиске функции G , близкой к F в смысле некоторой функции ошибки E . Если выбраны множество обучающих примеров и способ вычисления функции ошибки E , то обучение нейронной сети превращается в задачу многомерной оптимизации, предполагающую большой объем вычислений, при этом обучение в общем случае – многоэкстремальная невыпуклая задача оптимизации.

В общем случае такая задача при ограниченном наборе входных данных, имеет бесконечное множество решений [4]. Для ограничения пространства поиска при обучении ставится задача минимизации целевой функции ошибки, которая рассчитывается по методу наименьших квадратов [5]

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^p (y_j - d_j)^2, \quad (7)$$

где y_j – значение j -го выхода нейросети;
 d_j – целевое значение j -го выхода;
 p – количество нейронов в выходном слое.

Обучение сети производится изменением весов входов нейронов в соответствии с формулой

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}, \quad (8)$$

где η – параметр, определяющий скорость обучения сети.

Частная производная ошибки E по входу w_{ij} , вычисляется согласно выражению

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{dy_j}{dS_j} \cdot \frac{\partial S_j}{\partial w_{ij}}. \quad (9)$$

Первый множитель определяется по формуле

$$\frac{\partial E}{\partial y_j} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k} \cdot \frac{dy_k}{dS_k} \cdot \frac{\partial S_k}{\partial y_j} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k} \cdot \frac{dy_k}{dS_k} \cdot w_{jk}^{(n+1)}, \quad (10)$$

где n – номер слоя нейронов;
 k – количество нейронов в слое $n+1$.

Вводим вспомогательную переменную

$$\delta_j^{(n)} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{dy_j}{dS_j}. \quad (11)$$

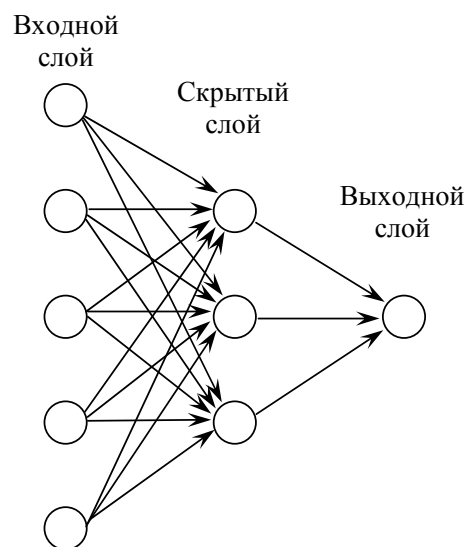


Рисунок 2 – Построенная нейронная сеть

На основании (11) запишем рекурсивную формулу для определения вспомогательной переменной для n -ого слоя сети

$$\delta_j^{(n)} = \left[\sum_k \partial_k^{(n+1)} \cdot w_{jk}^{(n+1)} \right] \frac{dy_j}{dS_j}. \quad (12)$$

Для последнего слоя сети определение данной переменной однозначно, поскольку известен целевой вектор

$$\delta_j^{(N)} = (y_i^{(N)} - d_i) \frac{dy_i}{dS_i}. \quad (13)$$

Окончательно запишем выражение для изменения веса Δw_{ij} в виде

$$\Delta w_{ij}^{(n)} = -\eta \cdot \delta_j^{(n)} \cdot x_i^n. \quad (14)$$

Применение полученного выражения может быть неэффективно в случае, когда производные по разным весам сильно отличаются друг от друга. Это возможно, когда значение функции S для некоторых элементов нейронной сети находится в окрестностях модуля 1, либо когда модуль некоторых весов много больше 1. В таком случае следует устанавливать малую скорость обучения, а процесс обучения при этом значительно удлинится [6].

Выход из данной ситуации состоит в использовании момента обучения μ , при этом изменяется выражение (14) и приобретает вид

$$\Delta w_{ij}^{(n)}(t) = -\eta \cdot \delta_j^{(n)} \cdot x_i^n + \mu \Delta w_{ij}^{(n)}(t-1), \quad (15)$$

причем тогда будет решена также проблема преодоления незначительных локальных минимумов.

Таким образом, процесс обучения нейросети сводится к следующей процедуре. На вход сети подается один из обучающих образов и определяются значения выходов нейронов. Рассчитываются значения δ и изменения весов Δw_{ij} для выходного слоя и всех скрытых слоев. Производится корректировка весов нейронной сети по выражению

$$w_{ij}^{(n)}(t) = w_{ij}^{(n)}(t-1) + \Delta w_{ij}^{(n)}(t), \quad (16)$$

где t — номер эпохи алгоритма.

Если ошибка существенна, то есть $E > \varepsilon$, то процесс повторяется заново. Если ошибка мала, то обучение сети завершается. Помимо этого можно сократить время обучения, используя метод сопряженных градиентов в дополнение к методу обратного распространения ошибки [7].

Суть метода сопряженных градиентов сводится к следующему. Данный метод отыскания безусловного экстремума предусматривает использование градиента целевой функции и сопряженных направлений.

Задача сводится к нахождению последних с помощью итерационной функции

$$d_{(i+1)} = r_{(i+1)} + \zeta_{(i+1)} d_{(i)}, \quad (17)$$

где $d_{(i+1)}, d_{(i)}$ — векторы антиградиента текущего и предыдущего шагов;

$r_{(i+1)}$ — текущий вектор направления;

$\zeta_{(i+1)}$ — коэффициент изменения направления.

Для расчета параметра ζ используется формула по методу Флетчера-Ривса

$$\zeta_{(i+1)} = \frac{r_{(i+1)}^T \cdot r_{(i+1)}}{r_{(i)}^T \cdot r_{(i)}}, \quad (18)$$

либо Полака-Рибера

$$\zeta_{(i+1)} = \frac{r_{(i+1)}^T \cdot (r_{(i+1)} - r_{(i)})}{r_{(i)}^T \cdot r_{(i)}}, \quad (19)$$

где $r_{(i+1)}, r_{(i)}$ — векторы направления текущего и предыдущего шагов.

Алгоритм данного метода на своем первом шаге предусматривает нахождение антиградиента функции в некоторой точке $x_{(0)}$

$$d_{(0)} = r_{(0)} = -f'(x_{(0)}). \quad (20)$$

Далее производится минимизация функции

$$f(x_{(i)} + a_{(i)}d_{(i)}) \rightarrow \min, \quad (21)$$

то есть осуществляется спуск в вычисленном направлении уменьшения значения функции. Осуществляется переход в точку, соответствующую найденному минимуму

$$x_{(i+1)} = x_{(i)} + a_{(i)}d_{(i)}. \quad (22)$$

Производится вычисление антиградиента в данной точке и коэффициента ζ по выражению (18) или (19). При вычислении по формуле (19) следует учитывать особенность метода Полака-Рибера, из-за которой авторы рекомендуют периодически, через $n+1$ шагов алгоритма, не учитывать предыдущее направление и приравнивать коэффициент ζ к нулю.

Затем осуществляется вычисление сопряженного направления по выражению (17) и заново переходят к минимизации функции $f(x_{(i)} + a_{(i)}d_{(i)})$ [8]. Проверка функционирования сети производится на специально подготовленной тестовой выборке. При надлежащей классификации делается вывод об адекватности работы нейронной сети.

При наличии нормализованных значений входных параметров проводим обучение нейронной сети, предъявляя входные векторы.

Обобщение данных, приведенных различными авторами показало, что на сегодняшний день нет строгих математических правил, которые отражают наиболее целесообразную методику обучения нейронной сети [4-8]. Тем не менее, при обучении нейронной сети учитывались следующие классические положения и рекомендации: количество связей между нейронами задавалось меньше примеров в обучающей выборке для предотвращения «запоминания» предъявляемых примеров; заведомо противоречивые данные были исключены из обучающей и тестовой выборок; количество эпох обучения задавалось таким, чтобы не допустить «переобучения» сети и появления эффекта расхождения решения.

Таблица – Значения параметров нейронной сети

Скрытый слой			
	1 нейрон	2 нейрон	3 нейрон
От 1 входа	-1,579	2,540	8,592
От 2 входа	2,079	-4,824	-0,856
От 3 входа	-16,450	-9,308	-8,530
От 4 входа	11,587	-1,581	2,360
От 5 входа	1,218	5,750	2,510
Смещение	1,717	-0,335	-0,266
Выходной слой			
	Выходной нейрон		
От 1 нейрона	7,658		
От 2 нейрона	-15,167		
От 3 нейрона	6,121		
Смещение	0,692		

Так как построенная сеть является многослойной, то при обучении была использована возможность комбинирования методов обучения. На начальном этапе использовался метод сетей обратного распространения, а окончательное уточнение весов нейронов проводилось с помощью метода сопряженных градиентов. Таким образом, была сформирована и обучена нейронная сеть.

В таблице приведены значения весов связей нейронной сети и параметры смещения нейронов.

Оценка адекватности сформированной нейронной сети может быть выполнена только экспериментально и проведена путем сравнения значений категорий дефектности опор контактной сети с результатами расчета выходного значения нейронной сети.

Максимальная ошибка была получена для двух случаев, что может указывать либо на наличие погрешностей при проведении измерений, либо на ошибочное определение категории дефектности. Для остальных измерений ошибка при оценке категории дефектности составила не более 1% для используемой выборки.

Дальнейшее уточнение весов связей нейронной сети можно проводить путем добавления примеров к обучающей выборке и проведением процедуры обучения сети. Отметим

также, что на коррозионное состояние большое влияние оказывают условия эксплуатации опоры, что, вероятно, может привести к необходимости построения нескольких нейронных сетей для конкретного региона с учетом эксплуатационных особенностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кандаев, В.А. Переносной прибор определения коррозионного состояния арматуры в подземной части железобетонных опор контактной сети / В.А. Кандаев, В.В. Петров, К.В. Авдеева, Ю.М. Елизарова, А.В. Кандаев, И.В. Федоров, А.В. Протченко // Инновационные проекты и новые технологии на железнодорожном транспорте: материалы научно-практической конференции. -Омск, 2009. -С. 80-84.

2 Биргер, И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер. -М.: Машиностроение, 1978. - 240 с.

3 Круглов, В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. -М.: Физматлит, 2001. -224 с.

4 Перцептрон – система распознавания образов. Теория, моделирование, возможные улучшения и применения перцептронов / Под общ. ред. А.Г. Ивахненко. -Киев, 1975. -432 с.

5 Горбань, А.Н. Обучение нейронных сетей / А.Н. Горбань. -М.: СП «ПараГраф», 1990. - 159 с.

6 Горбань, А.Н. Нейронные сети на персональном компьютере / А.Н. Горбань, Д.А. Россиев. -Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996. -276 с.

7 Комашинский, В.И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов. -М.: Горячая линия – Телеком, 2002. -94 с.

8 Круглов, В.В. Искусственные нейронные сети: Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. -М.: Горячая линия – Телеком 2001, -382 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железобетонная опора, категория дефектности, контактная сеть, коррозия, нейронная сеть

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кандаев Василий Андреевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «ОмГУПС»
Шкодун Павел Константинович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «ОмГУПС»
Авдеева Ксения Васильевна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «ОмГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ГОУ ВПО «ОмГУПС»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯ СОБЫТИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРИ СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКЕ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Ю.М. Денчик

THE DEFINITION OF PARAMETERS OF EVENTS FIELD IN ELECTRIC NETWORKS AT COMPLEX ELECTROMAGNETIC CONDITIONS

«Novosibirsk state academy of water transport»

Yu.M. Denchik

Parameters of a field of events in an electric network are considered. Theoretical bases conducted the electromagnetic handicapes caused by the poor-quality electric power and extending on wires are resulted.

Keywords: electromagnetic compatibility, field events, setting, electromagnetic interference

Рассмотрены параметры поля событий в электрической сети. Приведены теоретические основы кондуктивных электромагнитных помех, обусловленных некачественной электроэнергией и распространяющихся по проводам.

Нестандартные показатели качества электроэнергии (КЭ) усложняют электромагнитную обстановку (ЭМО) в электрических сетях напряжением от 6 до 750 кВ. Из-за этого нарушаются уровни электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств, в том числе и самих сетей как рецепторов, для кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП), распространяющихся по проводам. В результате снижается качество функционирования технических средств. Между тем в основном нормативно-техническом и методическом документе – ГОСТ 13109-97 [1], в РД 153-34.0-15.501-00 «Методические указания по контролю и анализу

качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения» [2], в стандартах организаций СТО 56947007-29.240.044-2010 «Методические указания по обеспечению ЭМС на объектах электросетевого хозяйства» [3] и СО 34.35.311-2004 «Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях» [4] не приводятся совпадений по определению (расчёту или измерению) кондуктивных ЭМП в высоковольтных сетях, обусловленных низким качеством электроэнергии. Анализ этих директивных документов позволяет сформулировать следующие общие выводы о искажающем аспекте качества электроэнергии:

- электрические сети переменного тока не представлены как рецепторы, то есть как технические средства, реагирующие на электромагнитные сигналы и (или) помехи, обусловленные нестандартными показателями КЭ;
- отсутствуют методические указания по расчёту кондуктивных ЭМП, распространяющихся по высоковольтным сетям, и параметров ЭМС в сложной ЭМО, обусловленной некачественной электроэнергией в сетях среднего и высокого классов напряжения системы электроснабжения общего назначения;
- отсутствуют рекомендации по обеспечению ЭМС технических средств в сетях среднего и высокого классов напряжения;
- отсутствуют методические рекомендации по мониторингу за кондуктивными ЭМП, распространяющимися по сетям электроэнергетической системы;
- не наблюдается различие между стандартными и нестандартными показателями КЭ, последние, обнаруженные (измеренные) средствами измерения, не характеризуют электроэнергию как товар, по ним можно только косвенно судить об электромагнитных процессах в сетях.

Сложившаяся ситуация объясняется недостаточным объёмом выполненных исследований по вопросам показателей КЭ и ЭМС технических средств в электрических сетях напряжением от 6 до 750 кВ. Не развитой теорией кондуктивных ЭМП, снижающих параметры ЭМС технических средств.

Практическая значимость необходимости дальнейшего развития теоретических основ и разработки научно-технических положений указанных ЭМП, влияющих на уровни ЭМС технических средств, обуславливается острой потребностью в повышении эффективности использования электроэнергии и энергетической безопасности регионов страны. При вступлении Российской Федерации во всемирную торговую организацию (ВТО) возрастает ответственность энергоснабжающих и энергопотребляющих организаций за качество электроэнергии [5]. Соответствие уровней ЭМС для кондуктивных ЭМП требованиям ГОСТ 13109-97 необходимо: для обеспечения мероприятий по защите жизни и здоровья граждан, имущества физических и юридических лиц, государственного имущества и по охране окружающей среды; для повышения технико-экономических показателей производств и качества выпускаемой ими продукции [6].

Среди показателей КЭ, обозначенных в стандарте [1], особое место занимают те, что не могут быть получены через непосредственные измерения, а только при проведении анализа электрического сигнала. Это показатели, которые определяются по усреднённым интервалам (таблица).

На интервале усреднения формируется одно значение измеряемого показателя КЭ как результат усреднения N -ых измерений, каждое из которых получается как среднее значение на временном интервале длительностью от 8 до 16 периодов основной частоты 0,16–0,32 с. Эти периоды представляются измерительными окнами. Каждое усреднённое значение показателя КЭ представляет текущее значение, измеренное в реальном времени, а их совокупность за 24 ч – массив, представляемый в результате статистической обработки в форме гистограммы распределения измеряемого показателя КЭ. Таким образом, массив измеренных за сутки усреднённых значений составляет: для отклонений напряжения – 1440, для отклонений частоты – 4320, для каждого из остальных показателей КЭ – 28800 [7].

В [7] с помощью теоремы о параметрах показано, что достоверность усреднённых значений достигается при условии непрерывности (интегрируемости) функции $f(X_i)$ измеряемого показателя КЭ X_i на интервале усреднения. Это условие соблюдается, если показатели КЭ изменяются в нормируемых пределах. При этом фактически отсутствуют переходные процессы в сетях, продолжительность которых значительно меньше интервала усреднения. При наличии искажений в электрической сети измеренные показатели КЭ в течение расчёт-

ного времени (24 ч) образуют множество, состоящее из различных значений, часть которых не удовлетворяет требованиям стандарта или все показатели КЭ являются нестандартными. Это множество представляет поле событий, обусловленных электромагнитными процессами, протекающими в электрической сети и формирующими ЭМО.

Таблица – Интервалы усреднения результатов измерений показателей качества электрической энергии [1]

Показатель качества электрической энергии	Интервал усреднения, с
Установившееся отклонение напряжения, δU_y	60
Размах изменения напряжения, δU_t	–
Доза фликера, P_{Lt}	–
Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, K_U	3
Коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$	3
Коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности, K_{2U}	3
Коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности, K_{0U}	3
Отклонение частоты, Δf	20
Длительность провала напряжения, Δt_n	–
Импульсное напряжение, $U_{имп}$	–
Коэффициент временного перенапряжения, $K_{перU}$	–

Применяя метод декомпозиции системного анализа в электроэнергетике [7], разделяется единый сложный электромагнитный процесс в электрической сети, обусловленный искажающей нагрузкой, на отдельные по названию показателей КЭ. Иными словами, допускается существование самостоятельных электромагнитных процессов, которые вызываются недопустимыми значениями установившегося отклонения напряжения $\delta U_y(t)$, коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения $K_U(t)$, коэффициента n -ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}(t)$, коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности $K_{2U}(t)$, коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности $K_{0U}(t)$, отклонения частоты $\Delta f(t)$. Время протекания такого электромагнитного процесса невозможно определить по показаниям электроизмерительных приборов. В связи с этим функцию $f(X_i)$ нельзя признать непрерывной. Поэтому, согласно теореме о существовании определённого интеграла, она не интегрируется [7]. В этом случае, строго говоря, показания приборов не являются параметрами ЭМО. Из-за этого по показаниям щитовых подстанционных приборов можно только косвенно судить о функционирующих в сетях общего назначения электромагнитных процессах, нарушающих ЭМС технических средств.

Для того чтобы показания приборов отображали ЭМО, необходимо исключить интервалы усреднения. Это возможно при условии изменения концепции построения этих приборов: наделяния их первичной и главной функцией многоканального осциллографирования процессов и сохранения всех присущих им полезных функций [7].

В связи с этим исследования переходных процессов искажений напряжения и частоты необходимо осуществлять путём осциллографирования (графический способ) и дальнейшей обработки осциллограмм на компьютерах по специальным программам [6]. Однако при этом остаётся неясным: как определять параметры ЭМО, представленной полем событий?

Пусть параметр ЭМО при нестандартном значении i -го показателя КЭ имеет обозначение $X_i(t)$, тогда измеренные значения связаны с полем событий и характеризуются таблицей вероятностей вида [9]

$$X_i(t) \left\{ \begin{matrix} f(X_1), f(X_2), \dots, f(X_i), \dots, f(X_K) \\ p(X_1), p(X_2), \dots, p(X_i), \dots, p(X_K) \end{matrix} \right\}. \quad (1)$$

Видно, что каждое событие $X_i(t) = f(X_i)$ имеет вероятность $p[X_i(t)] = p(X_i)$.

Исходными условиями для определения параметров распределения поля событий являются следующие положения:

– показатели КЭ определяются случайными процессами в сетях системы электроснабжения общего назначения, обусловленными многими случайными факторами;
– показатели КЭ измеренные за расчётный период (24 ч) образуют поле событий и характеризуются таблицами вероятностей вида (1);

– нормируемые значения показателей КЭ являются параметрами ЭМО и уровнями ЭМС технических средств для кондуктивных ЭМП в сетях общего назначения, характеризуют электроэнергию как товар;

– нестандартные показатели КЭ не являются параметрами ЭМО, по ним можно только косвенно судить о электромагнитных процессах нарушающих ЭМС технических средств.

Несмотря на различие по своей природе одни показатели КЭ ($\delta U_y, K_U, K_{U(n)}, K_{2U}, K_{0U}, \Delta f$) имеют два вида норм: нормально допустимые и предельно допустимые значения (таблица), а другие показатели КЭ ($K_{перU}, U_{имп}, \delta U_t, \Delta f_n$) ограничены только предельно допустимыми значениями. Оценка соответствия этих показателей КЭ требованиям стандарта производится с учётом следующих положений [1]:

– наибольшие значения не должны превышать предельно допустимых значений;
– остальные значения, определённые с вероятностью 95%, не должны превышать нормально допустимых значений.

Величина X_i -значение i -го показателя КЭ является дискретной случайной величиной. Дискретное распределение считается теоретически заданным, если известны все возможные значения $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$, принимаемые величиной, и вероятности $p(X_1), p(X_2), p(X_3), \dots, p(X_k)$ для каждого события. Так как значения X_i образуют полную группу событий, то имеем [8]

$$\sum_{i=1}^k p(X_i) = 1, \quad (2)$$

где k – номер последнего значения распределения.

Дискретная случайная величина характеризуется интегральной функцией распределения $F(X_i)$

$$F(X_i) = p(X < X_i), \quad (3)$$

где X – некоторая случайная величина;

$p(X < X_i)$ – вероятность того, что величина X принимает значения меньше X_i .

Функция распределения $F(X_i)$ случайной величины обладает следующими свойствами.

1 Предельные значения функции определяются системой уравнений

$$\begin{cases} \lim_{X_i \rightarrow -\infty} (X_i) = 0; \\ \lim_{X_i \rightarrow +\infty} (X_i) = 1. \end{cases} \quad (4)$$

2 $F(X_i)$ -непрерывная возрастающая функция; её приращение в промежутке (X_1, X_2) равно вероятности для величины X_i попасть в этот промежуток

$$F(X_1 < X_i < X_2) = F(X_2) - F(X_1) = \int_{X_1}^{X_2} p(X_i) dX. \quad (5)$$

3 Производная от интегральной функции распределения $F(X_i)$ равна плотности распределения $p(X_i)$, то есть

$$F'(X_i) = \frac{dF(X_i)}{dX_i} = p(X_i). \quad (6)$$

4 Функция $F(X_i)$ непрерывна слева.

5 $F(X_i)$ монотонно не убывает, то есть при $X_1 < X_2$ имеет место $F(X_1) \leq F(X_2)$.

Плотность распределения $p(X_i)$ обуславливается законом распределения случайной величины X_i . Параметрами распределения являются математическое ожидание случайной величины (первый начальный момент) и дисперсия (второй центральный момент). По данным [7] распределения значений показателей КЭ за расчётный период наиболее чаще соответствуют нормальному и равномерному законам распределения, реже экспоненциальному

и другим. Поле событий формирует кондуктивную ЭМП, обусловленную некачественной электроэнергией и распространяющуюся по проводам сетей.

В общем случае процесс возникновения кондуктивной ЭМП по одному из нарушенных показателей КЭ $X_i = X$ (для простоты записи индекс i в дальнейшем опускается), нормируемого положительными и отрицательными нормально и предельно допустимыми значениями, представляется математической моделью [9]

$$X \left[\begin{array}{l} P(X_H < X < X_n) + P(-X_n < X < -X_H) > 0,05; \\ P(X_n < X < \infty) + P(-\infty < X < -X_n) \neq 0 \end{array} \right] \subseteq \delta X, \quad (7)$$

где $X \subset \delta X$; X – подмножество δX , в том числе имеется ввиду возможность $X \subseteq \delta X$, то есть между $X \subset \delta X$ и $X \subseteq \delta X$ различия не делается;

δX – кондуктивная ЭМП, распространяющаяся по сетям;

X_H, X_n – соответственно нормально и предельно допустимое положительное значение рассматриваемого показателя КЭ;

$-X_H, -X_n$ – тоже для отрицательного значения.

Иными словами, кондуктивная ЭМП δX появляется в сетях, если в течение расчётного времени сумма вероятностей $P(X_H < X < X_n) + P(-X_n < X < -X_H)$ нахождения X в пределах (X_H, X_n) и $(-X_H, -X_n)$ превышает 0,05, а сумма вероятностей $P(X_n < X < \infty) + P(-\infty < X < -X_n)$ появления X в пределах (X_n, ∞) и $(-\infty, -X_n)$ не равна нулю. Эта кондуктивная ЭМП появляется также при выполнении только одного условия.

В связи с изложенным достоверное значение этой помехи может быть определено только статистическими методами [7,8]. При этом для вычисления моментов распределения необходимо найти метод, который позволил бы избежать ожидаемых ошибок, вызванных использованием нестандартных значений показателей КЭ. Для достижения цели анализируются методы теории характеристических функций [8].

Под характеристической функцией $\psi(t)$ случайной величины X понимают математическое ожидание случайной величины $\exp(itx)$ [8]

$$\psi(t) = M[\exp(itX)], \quad (8)$$

где t – действительный параметр;

i – мнимая единица, $i^2 = -1$.

Если $f(X)$ – функция распределения X , то

$$\psi(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(itx) df(X). \quad (9)$$

Однако, для определения моментов распределения дискретных случайных величин, заданных действительными (вещественными) числами вместо характеристических функций, используются производящие функции [8, 9]. Производящие функции имеют следующие свойства:

- имеет равномерно непрерывное распределение по всей действительной оси;
- для любой функции $\psi(t)$ выполняются соотношения

$$\begin{cases} \psi(0) = 1; \\ |\psi(t)| \leq 1 \text{ при } (-\infty < t < +\infty). \end{cases} \quad (10)$$

В нашем случае для вычисления моментов распределения используется искусственный приём. Предварительно допускаем [9], что

$$\delta X = \exp(tX), \quad (11)$$

где t – время.

Математическое ожидание величины δX будет некоторой функцией от t

$$m_X(t) = M[\exp(tX)], \quad (12)$$

где суммирование распространяется на все возможные величины X . Функция $M[\exp(tX)]$ является производящей функцией случайной величины X .

Теперь требуется доказать допустимость нашего предположения (11). С этой целью рассматривается теорема о начальных моментах, которая формирует первое свойство про-

изводящей функции.

Теорема. Начальные моменты ν_k распределения случайной величины X , заданного вероятностями $p(X)$, равны значениям k -ой производной от функции $m_X(t)$ в точке $t = 0$

$$\nu_k = \left. \frac{d^k}{dt^k} m_X(t) \right|_{t=0} \quad \text{при } k = 1, 2, 3. \quad (13)$$

Кроме того

$$m_X(0) = \nu_0 = 1. \quad (14)$$

Доказательство. Равенство (14) проверяется непосредственно. Ввиду того, что $\exp(0) = 1$, имеем

$$m_X(0) = M[\exp(X0)] = M[1] = 1. \quad (15)$$

Однако, при любом X , как известно

$$\frac{d^k}{dt^k} \exp(Xt) = X^k \exp(Xt), \quad (16)$$

и потому из формулы (12) после дифференцирования k раз по t , имеем

$$\frac{d^k}{dt^k} m_X(t) = \sum_X X^k \exp(Xt) p(X). \quad (17)$$

Полагая в этом тождестве $t = 0$, получаем

$$\left\{ \frac{d^k}{dt^k} m_X(t) \right\}_{t=0} = \sum_X X^k p(X) = M[X^k] = \nu_k. \quad (18)$$

Теорема доказана.

Следствие 1. Важнейшим следствием этой теоремы является возможность использовать математическое ожидание случайной величины X для оценки математического ожидания случайной величины δX . Точнее, математическое ожидание случайной величины X , заданной таблицей 1, равняется математическому ожиданию случайной величины δX

$$M[X] = M[\delta X] \quad (19)$$

Следствие 2. Для величины $X' = X - \nu_1$, то есть при отклонении величины X от математического ожидания ν_1 (центр группирования) справедливо равенство [10]

$$m_{X'}(t) = m_X(t). \quad (20)$$

Следовательно, можно принять, что центральные моменты случайной величины X и случайной величины δX одинаковы. В частности, одинаковы дисперсии

$$D[X] = D[\delta X], \quad (21)$$

и средние квадратические отклонения

$$\sigma[X] = \sqrt{D[X]} = \sigma[\delta X] = \sqrt{D[\delta X]}. \quad (22)$$

При исследовании случайных процессов в электрических сетях используются ещё два основных положения теории производящих функций [10]. Первое, из этих положений называется теоремой единственности и утверждает, что производящая функция однозначно определяет распределение вероятностей так, что не только каждому закону отвечает определённая производящая функция, но и, наоборот, каждой производящей функции соответствует единственное распределение.

Второе, ещё более важное по своим приложениям положение – теорема непрерывности – утверждает, что если последовательность производящих функций законов распределения $p(X_1), p(X_2), \dots, p(X_k)$ сводится к производящей функции закона $p(X)$ некоторого распределения, то и сами законы $p(X_1), p(X_2), \dots, p(X_k)$ сводятся к закону $p(X)$.

Из этих положений вытекает положение о том, что плотность вероятности распределения непрерывной случайной величины X , характерная для определённого закона теории вероятностей, соответствует плотности вероятности распределения функции δX . Следовательно, можно записать

$$\phi\{X, M[X], \sigma[X]\} = \phi\{\delta X, M[\delta X], \sigma[\delta X]\}. \quad (23)$$

Интегральные функции распределения, приведённые в математической модели (7), определяются по выражениям

$$P(X_H < X < X_H) = \int_{X_H}^{X_H} \phi\{X, M[X], \sigma[X]\} dX; \quad (24)$$

$$P(X_H < X < \infty) = \int_{X_H}^{\infty} \phi\{X, M[X], \sigma[X]\} dX; \quad (25)$$

$$P(-X_H < X < -X_H) = \int_{-X_H}^{-X_H} \phi\{X, M[X], \sigma[X]\} dX; \quad (26)$$

$$P(-\infty < X < -X_H) = \int_{-\infty}^{-X_H} \phi\{X, M[X], \sigma[X]\} dX. \quad (27)$$

Вероятность появления кондуктивной ЭМП δX рассчитывается по формуле [9]

$$P(\delta X) = P(X_H < X < X_H) + P(X_H \leq X \leq \infty) + P(-X_H < X < -X_H) + P(-\infty < X < -X_H) - 0,05. \quad (28)$$

Таким образом, методика определения моментов распределения параметров поля событий в электрических сетях при сложной ЭМО имеет существенное прикладное значение. Она позволяет использовать стандартные и нестандартные значения показателей КЭ за расчётный период измерения, полученные с помощью измерительно-вычислительных комплексов типов «Омск-М», «Ресурс-UF», ППКЭ-1-50 и др. для расчёта параметров кондуктивных ЭМП, распространяющихся по сетям (математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение и плотность вероятности распределения). Отличительной особенностью кондуктивной ЭМП является её стохастическое свойство – вероятность появления при превышении нормально и (или) предельно допустимых значений показателя КЭ. Эта помеха научно-обоснованно характеризует ЭМО в сетях СЭС общего назначения является параметром ЭМС технических средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Взамен ГОСТ 13109-87; введ. 01.01.99. -Мн.: Стандарты, 1998. -31 с.

2 РД 153-34.0-15.501-00. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Части 1 и 2. -М.: Минэнерго РФ, 2000. -127 с.

3 Стандарт организации СТО 56947007-29.240.044-2010. Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства. -М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2010. -147 с.

4 Стандарт организации СО 34.35.311-2004. Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях. -М.: РАО «ЕЭС России», 2004. -107 с.

5 Висящев, А.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах: учеб. для ВУЗов по направлению 650900 «Электроэнергетика» / А.Н.Висящев. -Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. -446 с.

6 Сальников, В.Г. Теоретическое исследование возможности электромагнитной совместимости за счёт подавления кондуктивных электромагнитных помех / В.Г. Сальников [и др.] // Сибирский научный вестник. Вып. XIV. -Новосибирск: Изд. НГЭВТ. -2010. -С. 83-85.

7 Иванова, Ю.М. Параметры электромагнитной обстановки в сети с искажающей нагрузкой / Ю.М. Иванова [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2008. -№2. -С. 242-247.

8 Босс, В. Лекции по математике. Т.4: Вероятность, информация, статистика // В.Босс. -М.: КомКнига, 2005. -216 с.

9 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е.В. Иванова; под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалека. -Новосибирск: Изд-во НГЭВТ, 2006. -432 с.

10 Смирнов, Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики / Н.В. Смирнов, И.В. Дудин-Барковский. -М.: Наука, 1965. -511 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электромагнитная совместимость, поле событий, параметр, электромагнитные помехи
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФГОУ ВПО «НГЭВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630009, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГЭВТ»

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ДИДАКТИЧЕСКИХ ИГР В СФЕРЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.А. Каравка

ABILITY TO USE COMPUTER GAMES TEACHING IN HIGHER VOCATIONAL EDUCATION

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.A. Karavka

The aim of this paper is to describe the possibility of using computer games teaching in higher vocational education. The concept of a training simulator and its relation to the didactic game. Also describes some of the practical training of students who are held to meet the requirements for professional training of a graduate degree in «Electrical Engineering, Electromechanics and Electrical Technology», which set out s federal state educational standards. We propose an exchange student development projects using information technology.

Keywords: computer educational games, educational trainers, course projects, information technology

Предложено применение компьютерных дидактических игр в сфере высшего профессионального образования. Рассмотрено понятие обучающего тренажера и его связь с дидактической игрой. Также описаны некоторые виды практических занятий учащихся, которые проводятся с целью выполнения требований к профессиональной подготовленности выпускника по специальности «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», что изложено в Государственном образовательном стандарте высшего профессионального образования. Рассмотрен пример разработки студентами курсовых проектов с использованием информационных технологий.

На сегодняшний день благодаря значительному росту темпа информационных технологий большую часть своего времени человек проводит за компьютером в связи с выполнением той или иной работы: печатании текста, разработки программ, оформления презентаций, выполнении различных математических вычислений, соответственно у каждого находится свободное время, чтобы поиграть в компьютерную игру, поэтому в большинстве случаев во внеучебной деятельности компьютеры используются школьниками и студентами, как правило, для игр и развлечений. Более половины учащихся используют интернет с целью поиска развлекательной информации. В связи с этим можно сделать вывод, что компьютер можно использовать как дидактическое средство в преподавании традиционных дисциплин, в особенности, математики и информатики, не считая тех случаев, когда компьютер должен быть использован для выполнения лабораторных работ.

В настоящее время достаточно быстрыми темпами развивается направление компьютерных дидактических игр, которые применяются в качестве средств обучения во многих областях современного образования, но зачастую некоторая их часть представляется достаточно бесполезной, если рассматривать с точки зрения образовательной практики. Программы носят чисто игровой характер и не помогают в приобретении теоретических или практических знаний в сфере среднего или высшего образования. Тем не менее обучающие игровые программы, основанные на заинтересованности, познании новой информации, соревновательном моменте, приобретают все большее распространение. Быстродействие, диалоговость, большая емкость памяти, легкость использования визуальных способов предоставления информации делают компьютерные или информационные технологии идеальным средством для дидактических игр.

Основные виды и формы таких игр связаны не только с освоением компьютерной грамотности, ознакомлением с языками программирования, но и со всем комплексом современных естественнонаучных и гуманитарных дисциплин. По своей сущности компьютерные средства обучения, а также игры обладают свойствами индивидуальной направленности и могут быть разработаны под конкретные психологические, психофизические и даже психофизиологические особенности пользователя. Также существует возможность, когда учащийся может подбирать условия и принимать участие в игре в качестве сценариста. Своего рода, этим занимаются школьники и студенты на лабораторных занятиях по информатике, разрабатывая различные проекты. Если взять специальность «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», то на втором курсе студенты сдают курсовые проекты в печатном и электронном виде. Данные проекты связаны с разработкой приложений, направленных на исследование вольтамперных характеристик источника напряжения, моделиро-

вание генератора сигналов, моделирование нелинейности типа «ограничение сигнала», построение пусковой характеристики, построение регулировочных характеристик, исследование механических характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения и т.д. То есть студенты создают своего рода обучающие тренажеры, с помощью которых существует возможность задавать количество измерений в рамках одного опыта, менять различные параметры, исходя из которых, будут получаться новые результаты, также возможность графически представить данные результаты и создать необходимые защиты и возможность сохранения результатов.

Разработка данных электронных приложений весьма актуальна для данных специальностей, так как в Государственном образовательном стандарте высшего образования в требованиях к профессиональной подготовленности выпускника по специальности «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» сказано, что инженер должен уметь использовать информационные технологии при проектировании и конструировании электротехнического оборудования и систем, технологических процессов и технологических операций, разрабатывать программы и проводить приемосдаточные испытания электротехнического оборудования, применять методы анализа, синтеза и оптимизации процессов обеспечения качества, испытаний и сертификации продукции, использовать компьютерные технологии моделирования и обработки результатов [1].

Для соблюдения данных требований и выполнения поставленных задач, учащиеся проходят учебную практику, выполняют лабораторные работы на практических занятиях, на которых требуется применять полученные теоретические знания, используя компьютер или различные обучающие тренажеры — учебно-тренировочные устройства для отработки рабочих навыков, выработки и совершенствования техники управления машиной (механизмом). Широко применяются в практике профессионального обучения рабочих различных специальностей. Обучающие тренажеры бывают простые, позволяющие отрабатывать отдельные элементы рабочих навыков и действий, и сложные, на которых отрабатывают комплекс действий.

Отсюда следует, что тренажер это своего рода имитация, моделирование ситуации, с которой в дальнейшем учащиеся могут столкнуться в своей профессии. Поэтому можно сделать вывод, что тренажер является обучающей дидактической игрой и представляет собой характерный пример использования дидактических игр для обучения некоторой дисциплине в условиях моделирования (имитации) определенных приобретаемых навыков по специальности. В одном из определений дидактической игры сказано, что это активная учебная деятельность по имитационному моделированию изучаемых систем, явлений, процессов [2]. Еще в древности игры использовали в педагогическом значении. Сначала это были игры — «подражания». Затем появились игры-«упражнения». В связи с этим на лабораторных занятиях также можно использовать игровые формы обучения, в частности компьютерные дидактические игры, которые входят в целостный педагогический процесс, сочетаются и взаимосвязаны с другими формами обучения и воспитания. В этом случае дидактические компьютерные игры привлекают внимание студентов, способствуют закреплению навыков и знаний по той или иной теме, учащиеся добиваются определенного результата при прохождении игры, соблюдая все правила. Поэтому благодаря играм такого типа появляются не только новые формы, но и новые цели в процессе обучения, что и способствует появлению таких терминов, как дидактическая компьютерная среда, понимаемая как ближайшее окружение всех субъектов образовательного процесса, влияющее на воспитание, развитие, обучение при использовании средств электронно-вычислительной техники.

Таким образом, наряду с обучающими тренажерами и курсовыми проектами, которые являются моделью определенных электротехнических приборов, можно использовать компьютерные дидактические игры в учебном процессе.

Применяя наглядные, практические и объяснительно-иллюстративные методы дидактических игр происходит осмысление полученных данных, а также собственных практических действий или действий демонстрируемых преподавателем. Выполняя различные записи, схемы, зарисовки и разрабатывая самостоятельно программы проектов, учащиеся воспринимают, осмысливают и запоминают сообщаемую им информацию, впоследствии применяя полученные знания на практике. Поэтому использование учебных тренажеров и дидактических компьютерных игр способствует лучшему усвоению учебного материала и применению его на лабораторно-практических занятиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования. Составители: В.А. Аметистов, В.В. Галактионов. Согласовано: Г.К. Шестаков, Е.П.Попова, 2010.

2 Эльконин, Д.Б. Психология игры / Д.Б. Эльконин. -М: Владос,1999. -360 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: компьютерные дидактические игры, обучающие тренажеры, курсовые проекты, информационные технологии

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Каравка Александр Александрович, ассистент ФГОУ ВПО «НГавт»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630009, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА
А.С. Овсянников, Н.А. Килина

 ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ОПЛАТЫ
 «УЧАСТИЕ В ПРИБЫЛЯХ» НА РЕЧНОМ ТРАНСПОРТЕ 3

М.А. Бучельников, А.В. Панов

ОБЗОР РОССИЙСКОГО РЫНКА УСЛУГ В ОБЛАСТИ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ 6

Д.В. Осипов

 АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПОЛОЖЕНИЯ ОДНОВАГОННЫХ
 ОТЦЕПОВ НА ПЕРЕВАЛЬНОЙ ЧАСТИ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК В
 МОМЕНТ ИХ ОТРЫВА ОТ СОСТАВА 9

Н.Н. Красильникова

 ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММ РАЗВИТИЯ
 РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ 13

Ю.М. Кулинич, В.К. Духовников

 СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАБОТЫ
 АКТИВНОГО КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ 16

А.Г. Панова

 ЯКУТИЯ И СТРАТЕГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО
 ПУТИ. ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ СЕВЕРНОГО
 МОРСКОГО ПУТИ 21

А.Г. Панова, Н.Р. Авганов

БОЛЬШАЯ РОЛЬ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ) 27

В.М. Левин

 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ
 ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ
 ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 29

В.И. Новоселов

 ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ОБЩЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО
 ТРАНСПОРТА НОВОСИБИРСКА 32

Н.Г. Репина

 ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСА
 ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ 35

М.В. Пак

 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО
 СЦЕНАРИЯ РАЗВИТИЯ ГРУЗОПОТОКОВ СИБИРИ 40

Н.Н. Рехалова, В.П. Лобастов

 ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ
 СТРОИТЕЛЬНОЙ СТОИМОСТЬЮ СУДОВ НА РАННИХ СТАДИЯХ
 ПРОЕКТИРОВАНИЯ 44

Т.А. Лунина, М.О. Северова

 ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК ОДНО ИЗ
 ВАЖНЕЙШИХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
 ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА 47

В.М. Бунеев

ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ФОРМ УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОВЫМИ

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕВОЗКАМИ.....	50
М.О. Северова	
ФОРМИРОВАНИЕ УДЕЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ РАСХОДОВ ПО УРОВНЯМ УПРАВЛЕНИЯ ОАО «РЖД»	55
А.А. Давыдов	
АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРУДА РАБОЧИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА.....	57
А.П. Дементьев, Т.В. Беляева	
РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ДРУГИХ ФИЛИАЛОВ ОАО «РЖД» ПО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	61
П.Н. Рубежанский	
ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СТРУКТУРЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА НА БАЗЕ КАЧЕСТВЕННО «НОВОЙ» РАБОЧЕЙ СИЛЫ.....	65
А.П. Дементьев, Л.Н. Аршба	
ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СПЕЦИАЛИСТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА.....	68
Д.Л. Седых	
О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ КОМПАНИИ С ПОЗИЦИЙ СТЕПЕНИ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ	71
В.В. Галтер	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ И УЧЕТА ЗАТРАТ НА СОДЕРЖАНИЕ И РЕМОНТ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА.....	74
А.О. Самбур	
РОССИЙСКАЯ ПРАКТИКА ЛИЗИНГА	78
О.Ю. Смирнова	
ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СПРОСА НА ГРУЗОВЫЕ ПЕРЕВОЗКИ.....	85
Т.А. Лунина	
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОИМОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ СЕКТОРЕ ВАГОННОГО ХОЗЯЙСТВА.....	89
А.А. Краснощек, Д.А. Динец	
ФИНАНСОВЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ТРАНСПОРТНОЙ СФЕРЕ	92
И.С. Дерябина	
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПОДСИСТЕМЕ «ОПЕРАТИВНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ».....	95
А.В. Зачёсов	
МАЛЫЕ РЕКИ – КАК УПРАВЛЯЕМАЯ СИСТЕМА.....	99
С.А. Ларионов	
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАВОЗА ГРУЗОВ В АРКТИЧЕСКИЕ РАЙОНЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА.....	103

И.А. Пичурина

ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ОРГАНИЗАЦИЯХ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА	106

Н.Г. Репина

ЕТОДОЛОГИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ И РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА.....	110

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО
А.А. Воробьев

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И РЕСУРС КОЛЕСНЫХ ПАР	114

Е.П. Дудкин, А.В. Алексеев

АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ СЫПУЧЕГО ГРУЗА ПО КРИВОЛИНЕЙНЫМ ЛОПАСТЯМ РОТОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН	116

А.А. Воробьев, П.М. Терехов

УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОЛЕСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ	121

Т.В. Иванова, Д.Г. Налабордин

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В МЕЖРЕМОНТНОМ ПЕРИОДЕ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВЫЖИВАЕМОСТИ ОБЪЕКТОВ	125

П.С. Бурдяк

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЫТЯЖНОГО ПУТИ ПРИ РАСФОРМИРОВАНИИ СОСТАВОВ ОДИНОЧНЫМИ ИЗОЛИРОВАННЫМИ ТОЛЧКАМИ	130

Д.В. Нефедов, Д.Ю. Фадеев

ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ДИНАМИКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОПЕРАТОРА	133

Д.В. Нефедов, Д.Ю. Фадеев

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННОГО ПОДВИЖНОГО МОДУЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ	138

А.В. Распутин

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.....	141

С.В. Кротов, В.П. Кротов

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГРЕССИИ ПОВЕРХНОСТИ ОТКЛИКА ПРИ АНАЛИЗЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ВАГОНА	143

СУДОВОЖДЕНИЕ
Д.А. Акмайкин, Н.М. Аносов, А.Г. Конаков

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ НЕСМЕЩАЕМОСТИ ПАЛУБНЫХ ПАКЕТИРОВАННЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ОТ СПОСОБА УКЛАДКИ И КРЕПЛЕНИЯ ГРУЗА	147

А.В. Степанец, И.А. Степанец, В.Е. Верютина ОБОСНОВАНИЕ СТРАТЕГИИ МАНЕВРИРОВАНИЯ РЕСУРСАМИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СУДОВ	152
Д.А. Варлачев, А.А. Сиротюк, В.И. Меньшиков АССОЦИАТИВНО-СТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВОЙ ХОДОВОЙ ВАХТЫ	155
Н.В. Калитёнков, В.И. Милкин, А.Н. Калитёнков, А.В. Гурин, С.А. Черноус ОСОБЕННОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В АРКТИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СНС. БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ	159
В.И. Милкин, Н.В. Калитёнков, А.Н. Калитёнков, А.В. Гурин, Н.С. Загороднева, Д.А. Амелькин РАДИОСВЯЗЬ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ. БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ В АРКТИКЕ	162
А.Н. Никулин ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ ОБЪЕКТА В АТМОСФЕРЕ	165
Ю.А. Комаровский ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ НАХОЖДЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО МЕСТА СУДНА В ЗАДАННОМ СЕКТОРЕ	169
В.А. Кац, Ю.А. Комаровский ПОГРЕШНОСТИ ПРИЁМНИКА GARMIN GPS-128 ПРИ ЧАСТИЧНОМ ЗАТЕНЕНИИ СИГНАЛОВ СПУТНИКОВ	173
Н.В. Калитёнков, В.И. Милкин, А.Н. Калитёнков, А.В. Гурин АКТИВНАЯ ИОНОСФЕРНАЯ АНТЕННА. БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ МОРСКОГО РАЙОНА А4	178
В.В. Саленек НОВЫЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ДВИЖЕНИЯ СУДНА НА УСТАНОВИВШЕЙСЯ ТРАЕКТОРИИ	183
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА	
В.С. Кукис, И.А. Харенко КОМПРЕССОРНЫЙ ДИЗЕЛЬ – ПРОШЛОЕ ИЛИ БУДУЩЕЕ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ?	186
С.П. Кулманаков, С.В. Яковлев МЕТОДИКА РАСЧЕТА И АНАЛИЗ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ РАСПЫЛЕННОГО ТОПЛИВА В ЦИЛИНДРЕ ДИЗЕЛЯ	188
П.А. Бимбереков ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕЧЕНИЙ СТЕРЖНЕЙ, УПОТРЕБЛЯЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ ПИЛЛЕРСОВ И РАСКОСОВ ФЕРМ СУДОВЫХ КОРПУСОВ	194
О.И. Шелудяков БЛИЖАЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	201
А.С. Трофимов, И.А. Волков ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ И ХАРАКТЕРА	

ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ ТРУЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОДШИПНИКОВ БУКСОВЫХ УЗЛОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ	203
Л.К. Арабьян, Д.А. Шестаков	
КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И РЕМОНТЕ	208
Н.А. Сычева, Ю.В. Дёмин, И.Г. Мироненко, А.И. Мозилов, Б.В. Палагушкин	
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ	212
А.К. Зуев, Ю.И. Ришко, Л.О. Соловьева	
К РАСЧЕТУ КОМПЕНСАТОРА ЖЕСТКОСТИ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ ПОДВЕСКИ	216
Г.В. Шувалов	
ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИЗАТОРОВ СИМ-6 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕРЫ В ТОПЛИВО-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ.....	220
Г.В. Шувалов	
РАЗРАБОТКА ПРИБОРОВ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СУДОВЫХ ТОПЛИВО-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИХ ПРИМЕНЕНИИ В СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ	225
А.А. Балашов, А.Е. Свистула, Г.В. Пыжанкин, В.С. Яров	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВОГО ТРАКТА ДИЗЕЛЯ С ДВОЙНОЙ СИСТЕМОЙ ВЫПУСКА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ.....	227
О.В. Щербакова, М.К. Романченко	
ПРОБЛЕМА ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ	232
Л.М. Жмудяк, А.Л. Жмудяк	
ЧЕТЫРЕХТАКТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ИНТЕНСИВНОЙ ПРОДУВКОЙ.....	235
Л.М. Коврижных	
РАСЧЕТ СВОБОДНЫХ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛОПРОВОДА В СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ С УЧЕТОМ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ	238
В.В. Тарасов	
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ.....	242
А.А. Балашов, А.С. Антошкин, А.С. Колокольников	
ВЫБОР И РАСЧЕТ ГЛУШИТЕЛЯ ДИЗЕЛЯ С ДВОЙНОЙ СИСТЕМОЙ ВЫПУСКА.....	247
И.А. Майба, С.В. Кротов, А.М. Ананко	
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРЕССОВОГО СОЕДИНЕНИЯ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ВАГОНА	257
Г.Д. Матиевский, А.Н. Любимов	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВНЕШНЕЙ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ НА РЕЖИМАХ ПОСТОЯННОЙ МОЩНОСТИ	260

С.П. Андриященко, В.В. Попков, С.В. Титов, Г.С. Юр	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ГИПОТЕЗЫ О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТИЦ САЖИ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЯ ЧЕРЕЗ АЦЕТИЛЕН.....	267
В.Д. Шмаков, С.В. Титов, Г.С. Юр	
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ С КАМЕРОЙ СОДЕРЖАЩЕЙ ГАЗОСТРУЙНЫЙ ГЕНЕРАТОР ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ РАБОТЕ НА МАЗУТЕ.....	269
Н.С. Инкижинов	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЯДРА СЕЧЕНИЯ В ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ВИДЕ ДЛЯ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕРЖНЯ С ДУГОЙ ОКРУЖНОСТИ	272
О.Г. Куделин, В.И. Фомин	
ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ОДНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ.....	274
Н.С. Инкижинов, В.И. Фомин	
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КООРДИНАТ ЯДРА СЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕРЖНЯ С ДУГОЙ ОКРУЖНОСТИ	276
Ю.В. Борисенко	
СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КОМПОЗИТНЫХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА	281
А.В. Жаров, В.Ю. Гросс	
СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ВИБРОЗАЩИТНОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ГАСИТЕЛЯ КОЛЕБАНИЙ С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УПРУГОЙ СВЯЗЬЮ	284
А.А. Зуев	
ПРИВЕДЕННАЯ ЧАСТОТА СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ШАРНИРНО- РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА	287
С.В. Викулов	
ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЕЙ ПО ОБЩЕЙ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ МАСЛА	289
С.В. Викулов	
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ ЦПГ (ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ) СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ ПО ОБЩЕЙ ЗАГРЯЗНЁННОСТИ МАСЛА	292
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА	
А.И. Елшин, С.Л. Собин, С.С. Прудников	
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЕМ	295
Н.В. Раевский, В.Г. Литвинцев	
ОПЕРАТИВНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ГИБРИДНЫМ МЕТОДОМ	298
А.И. Елшин, С.Л. Собин, С.С. Прудников, Н.К. Ефимов, М.А. Дмитриева	
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЯ	302
В.Н. Аносов, В.М. Кавешников, В.Ф. Чернов	
СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ТОКА АККУМУЛЯТОРНОЙ	

БАТАРЕИ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ.....	305
Н.Н. Лизалек, В.Ф. Тонышев	
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СЕЧЕНИЯ АСИНХРОННОГО ХОДА В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЯХ	308
Н.Н. Лизалек, В.Ф. Тонышев	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ХАРАКТЕРА СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПРОСТОЙ МОДИФИКАЦИИ.....	313
А.П. Малахов	
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В СЕЙСМОЛОГИИ И СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	316
П.Н. Майшев	
ВЫБОР КООРДИНАТ МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТОКОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ С ТРЕУГОЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ФАЗ.....	319
В.З. Манусов, П.В. Морозов	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВЛИЯНИЯ СКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ НА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	323
Ш.К. Исмаилов, А.Н. Гуреев, А.С. Талызин, Н.В. Есин	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПОСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОВОЗА НА ОБОТЧКУ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ	327
Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, В.В. Бублик, Е.И. Селиванов, Д.В. Мурзин, Д.В. Юрасов	
К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ БИЕНИЯ КОЛЛЕКТОРА НА КАЧЕСТВО КОММУТАЦИИ И РЕСУРС ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ	332
Е.И. Селиванов	
МЕТОДИКА НАСТРОЙКИ КОММУТАЦИИ ТЭД ТЛ-2К1 НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПОЛНОГО ЦИКЛА РЕМОНТА МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ДП.....	336
А.В. Семенюк, В.В. Княжев, С.А. Гармаш	
СУДОВАЯ ОПРЕСНИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА С ВЫРАБОТКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	340
В.А. Васильев, А.Н. Сычугов	
ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА.....	343
С.М. Кузнецов, А.В. Гашкова, И.С. Демиденко	
НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ, КАК ЭЛЕМЕНТ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА	346
В.З. Манусов, С.Н. Удалов, Н.В. Зубова	
УСТРОЙСТВА БЫСТРОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОДЪЕМНОЙ СИЛЫ ВЕТРОВОЙ ТУРБИНЫ.....	349
Н.М. Зайцева, Б.Б. Исабекова	
РАСЧЕТ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА НА ГЛУБИНЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ.....	352

Г.Я. Иванов, А.Ю. Кузнецов	
ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ ТОКА НА ПОТЕРИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЕ	355
А.М. Худоногов, Х.И. Шарабханов, А.В. Кочетков	
СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВЛ-85 И ЗЭС5К.....	358
С.А. Евдокимов, В.И. Сопов, А.А. Помазная, О.Л. Волкова, В.Г. Шальнев	
РОТАЦИОННЫЕ РЕГУЛИРУЕМЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ.....	361
В.Г. Ляпин, Д.С. Болотов	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОКА В ВЕРХНЕМ СЛОЕ ПОЧВЫ, СОЗДАВАЕМОГО МОБИЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ.....	365
Г.Н. Чистяков, Р.Ю. Беляев	
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ СИТУАЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ УСТРОЙСТВАМИ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ	370
Г.Я. Иванов, А.Ю. Кузнецов	
УЧЕТ ФАКТИЧЕСКОЙ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМОЙ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ	378
В.Г. Ляпин	
ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОДНЫХ СИСТЕМ МОБИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.....	381
Г.М. Симаков, М.А. Марченко	
ПРОЦЕССЫ ПУСКА И ТОРМОЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПРИ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ НАГРУЗКЕ	383
Ю.А. Самахов, Д.С. Скотников	
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ОТ КОМПЛЕКСНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СУДОВЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	387
Г.Я. Иванов, Б.В. Малозёмов, П.В. Зонов	
ДИАГНОСТИКА И АНАЛИЗ ВИБРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН.....	390
Г.Я. Иванов, Б.В. Малозёмов, П.В. Зонов	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПОД НАГРУЗКОЙ	393
Д.А. Чумачев, Н.И. Щуров	
ПИД-РЕГУЛЯТОР ТОКА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА	396
Е.Н. Красильников	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОАПВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ КОМПЕНСАЦИИ ЛИНИЙ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ	401
Т.Г. Красильникова	
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ И ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМПЕНСИРОВАННЫХ ЧЕТЫРЁХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ	404
Ю.М. Денчик, В.В. Гоголюк, Л.И. Сарин, И.Н. Дмитриев, А.И. Ширковец	
СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ	

СОДЕРЖАНИЕ

НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ СО СДВОЕННЫМ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИМ РЕАКТОРОМ И С ИЗОЛИРОВАННОЙ ИЛИ ЗАЗЕМЛЁННОЙ ЧЕРЕЗ РЕЗИСТОР НЕЙТРАЛЮ	407
В.А. Кандаев, П.К. Шкодун, К.В. Авдеева	
ПОСТРОЕНИЕ НЕЙРОННОЙ РАСПОЗНАЮЩЕЙ СЕТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОРРОЗИОННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ	412
Ю.М. Денчик	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯ СОБЫТИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРИ СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ	418
А.А. Каравка	
ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ДИДАКТИЧЕСКИХ ИГР В СФЕРЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ	425

Уважаемые коллеги!

Редакция журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока», приглашает Вас опубликовать результаты Ваших научных исследований в №1 журнала за 2011 год. Материалы (заявку, статью, рецензию) просим высылать ответственному секретарю журнала Коновалову В.В. по электронной почте: konov@nsawt.ru. Оригиналы по почте на адрес Академии с пометкой для Коновалова В.В. Прием материалов в очередной номер журнала заканчивается 25 апреля 2011 г.

Заявка на публикацию научной статьи в №1 журнала за 2011 год

	на русском языке	на английском языке
Название статьи		
Аннотация (150-200 символов)		
Ключевые слова (не более 10 слов)		
Организация (полное юридическое название и адрес)		
Автор(ы) (ФИО полностью, ученая степень, ученое звание, должность, мобильный телефон*)		
Адрес электронной почты (для обратной связи)		

*-номер мобильного телефона необходим для оперативного решения возможных вопросов и разглашению не подлежит

С условиями публикации ознакомлен(ы), представленный материал ранее не был опубликован, рецензию от компетентного по тематике статьи лица гарантируем.

Дата

Подпись(и)

Требования к представлению материалов:

- 1 Статья на бумажном и электронном носителе формат MS WORD 2003 (объем 3-5 страниц формата А4, шрифт Arial размер 14, одинарный интервал, поля 2 см).
- 2 Заявка на публикацию научной статьи.
- 3 Заверенная рецензия (от компетентного по тематике статьи лица, с полным указанием его ФИО, ученой степени, ученого звания, должности и почтового адреса организации).
- 4 Графический материал не подлежит правке при наборе (при выполнении рисунков поясняющий текст должен быть разборчив); размеры рисунка не более 15×15 см; глубина цвета – оттенки серого.
- 5 Ширина таблиц не более 15 см.
- 6 Все математические формулы и выражения должны быть набраны в специальном редакторе формул (Mathtype 6), шрифт Arial.
- 7 Ссылки на литературу выполняются сквозной нумерацией арабскими цифрами, в квадратных скобках в порядке указания. На каждый указанный в списке источник, должна быть ссылка в тексте статьи.

Редколлегия оставляет за собой право литературной редакции содержания статьи без согласования с автором(и)

С условиями публикации научных и рекламных материалов можно ознакомиться у ответственного секретаря журнала Коновалова Валерий Владимировича, тел./факс (383)222-49-83, 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д. 33. ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» а также на интернет-странице ФГОУ ВПО «НГАВТ» по адресу: <http://www.nsawt.ru> в разделе «Издательство». Для аспирантов очного отделения публикация материалов в журнале – бесплатно, в порядке очередности и актуальности.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ
Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока

Ответственный за выпуск – Коновалов В.В.

Подписано в печать 23.12.2010 г. с оригинал-макета
Бумага офсетная №1, формат 60x84 1/8, печать трафаретная – Riso.
Усл. печ. л. 50,8; тираж 1500 экз. Заказ №132
Цена договорная.

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» (ФГОУ ВПО «НГАВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, тел. (383)222-64-68, факс (383)222-49-76

Отпечатано в издательстве ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ISSN 2071-3827

Почтовый индекс 62390