

ПРИВЕДЕНИЕ СИСТЕМЫ ОПЛАТЫ ПЛАВСОСТАВА ОАО «ЗАПАДНО-СИБИРСКОЕ РЕЧНОЕ ПАРОХОДСТВО» В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ РЫНКА ТРУДА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.С. Овсянников, Н.А. Килина

REDUCTION OF A WAGE SYSTEM OF WORKERS OF A RIVER TRANSPORT OF OPEN SOCIETY «WESTERN-SIBIRIAN RIVER SHIPPING COMPANY» IN CONFORMITY WITH WORK MARKET DEMANDS

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.S. Ovsyannikov, N.A. Kilina

The analysis is carried out and defects now in force was temporary - a premium system of the wage of workers of a river transport are revealed, the new system of tariff factors and official rates of pay on the basis of fulfilment of market principles of the wage, in particular a principle of «the Minimum wages» that allows to fulfil adequately requests of laws of the market of a manpower and transportation services is offered.

Keywords: the wage, official rates of pay, tariff factors, the analysis, modernization, economic efficiency

Проведен анализ и выявлены недостатки действующей в настоящее время повременной – премиальной системы оплаты труда плавсостава, предложена новая система тарифных коэффициентов и должностных окладов на основе выполнения рыночных принципов оплаты труда, в частности принципа «Минимальной зарплаты», что позволяет в достаточной мере выполнить требования законов рынка трудовых ресурсов и транспортных услуг.

В настоящее время оплата труда плавсостава транспортного флота ОАО «Западно-Сибирское речное пароходство» («ЗСРП») организована по повременной-премиальной системе и ежемесячный заработок члену экипажа судна в навигационный период начисляется по формуле:

$$Z_{\text{раб}} = [(D_0 + \Delta D_0) + P_{\text{прем}}] k_p,$$

где D_0 – ежемесячный должностной оклад, руб.;

ΔD_0 – надбавки и доплаты к должностному окладу, компенсирующие отклонения от нормальных условий труда членам экипажей судов, руб.;

$P_{\text{прем}}$ – ежемесячная премия, за выполнение и перевыполнение плановых заданий экипажем судна, руб.;

k_p – средневзвешенный районный коэффициент, учитывающий различные районы плавания, ед.

Должностные оклады командного и рядового плавсостава транспортного флота установлены согласно группе судов (таблице 1).

Таблица 1 – Должностные оклады плавсостава ОАО «ЗСРП» (все суда на транспортной работе, аварийно-спасательные суда, пассажирские скоростные суда), руб.

Состав	Должность	Группа по оплате труда					
		II	III	IV	IV*	V	VI
Командный	капитан-механик	5430	5920	6420	6790	7180	8520
	капитан-1 помощник механика	5020	5430	6030	6330	6650	7320
	капитан-2 помощник механика	4810	5200	5850	6150	6470	6900
	капитан-3 помощник механика	4580	5130	5640	5960	6280	6700
	механик-1 штурман	4810	5200	5850	6150	6470	7110
	механик-2 штурман	4580	5130	5640	5960	6280	6700
	механик-3 штурман	4190	4700	5200	5480	5730	6280
	1 помощник механика-2 штурман	—	4120	—	4810	—	5430
	1 штурман-1 помощник механика	4010	4470	4950	5230	5500	5870
	1 штурман-2 помощник механика	—	4120	—	4810	—	5430
	2 штурман-2 помощник механика	3410	3800	4140	4350	4560	5230
	3 штурман-3 помощник механика	3020	3020	3550	3680	3800	3980
	электромеханик	—	—	4950	5230	5500	6320
Рядовой	2 штурман-2 помощник механика (вместо моторист-рулевого)	3700	3910	4040	4200	4340	4740

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Продолжение таблицы 1

Состав	Должность	Группа по оплате труда					
		II	III	IV	IV*	V	VI
Рядовой	3 штурман-3 помощник механика (вместо моторист-рулевого)	3510	3510	3800	3830	3830	4040
	моторист-рулевой 1 класса	3510	3510	3700	3700	3700	3700
	моторист-рулевой 2 класса	3300	3300	3510	3510	3510	3510
	моторист-рулевой 3 класса	2870	2870	3050	3050	3050	3050
	матрос	2680	2680	2680	2680	2680	2680
	электрик	—	—	2870	2870	2870	2870

*-пр.1741; пр.Р-33Б

Из таблицы 1 следует, что эти должностные оклады плавсостава устанавливались путем умножения базового должностного оклада на тарифный коэффициент, причем за базовый оклад принимался оклад самого наименее оплачиваемого работника – матроса, с его окладом 2600 руб. ($D_0^{\min}$)

$$D_0 = D_0^{\min} \cdot k_{\text{тариф}}$$

где $k_{\text{тариф}}$ – тарифный коэффициент соответствующей группы судна, ед.

Тарифные коэффициенты для установления должностных окладов работников плавсостава по группам флота приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Тарифные коэффициенты по группам судов (все суда на транспортной работе, аварийно-спасательные суда, ОС, буксиры на формировании плотов, пассажирские скоростные суда, паромы)

Состав	Должность	Группа по оплате труда					
		II	III	IV	IV*	V	VI
Командный	капитан-механик	2,36	2,57	2,79	2,95	3,12	3,42
	капитан-1 помощник механика	2,18	2,36	2,62	2,75	2,89	3,18
	капитан-2 помощник механика	2,09	2,26	2,54	2,67	2,81	3,00
	капитан-3 помощник механика	1,99	2,23	2,45	2,59	2,73	2,91
	механик-1 штурман	2,09	2,26	2,54	2,67	2,81	3,09
	механик-2 штурман	1,99	2,23	2,45	2,59	2,73	2,91
	механик-3 штурман	1,82	2,04	2,26	2,38	2,49	2,73
	1 помощник механика-2 штурман	—	1,79	—	2,09	—	2,36
	1 штурман-1 помощник механика	1,74	1,94	2,15	2,27	2,39	2,55
	1 штурман-2 помощник механика	—	1,79	—	2,09	—	2,36
	2 штурман-2 помощник механика	1,48	1,65	1,80	1,89	1,98	2,11
	3 штурман-3 помощник механика	1,31	1,31	1,54	1,60	1,65	1,73
	электромеханик	—	—	2,15	2,27	2,39	2,55
Рядовой	2 штурман-2 помощник механика (вместо моторист-рулевого)	1,38	1,46	1,51	1,57	1,62	1,77
	3 штурман-3 помощник механика (вместо моторист-рулевого)	1,31	1,31	1,42	1,43	1,43	1,51
	моторист-рулевой 1 класса	1,31	1,31	1,38	1,38	1,38	1,38
	моторист-рулевой 2 класса	1,23	1,23	1,31	1,31	1,31	1,31
	моторист-рулевой 3 класса	1,07	1,07	1,14	1,14	1,14	1,14
	матрос	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	электрик	—	—	1,07	1,07	1,07	1,07

*-пр.1741; пр.Р-33Б

Премирование плавсостава парокходства осуществляется согласно положению о премировании. Одновременно с премированием в парокходстве введена система штрафов за производственные упущения в работе при наличии которых плавсостав может быть лишен вознаграждения полностью или частично.

Анализ действующей системы оплаты труда показал, что она имеет существенные недостатки и за последние 18 лет проведения рыночных реформ в нашей стране практически не изменилось, ее методология осталась прежней, как при социализме.

Вопиющим противоречием в рыночной экономике является установление базового

должностного оклада ниже минимального размера заработной платы, установленного правительством России в сумме 4330 руб. с 01.01.2010. г. Напомним, что базовый оклад матроса принят в пароходстве в сумме 2680 руб., что не допустимо.

Подтверждением этого является порядок определения должностных окладов по группам судов: они различаются между собой не на много, например, у капитана-механика в размере от 300 до 500 руб., а разница в окладах у него же между 2 и 6 группой флота составляет не многим больше 3000 руб. У рядового состава одинаковые оклады для всех групп судов.

Та же тенденция наблюдается при установлении величины тарифных коэффициентов: коэффициент, равный 1,0, установлен матросам одинаковым по всем группам судов. Наивысший коэффициент, равный 3,42, установлен капитан-механику 6 группы флота, а для других должностей тарифные коэффициенты разместились в указанном диапазоне от 1,0 до 3,42.

Таким образом, налицо явная тенденция к «уравниловке»: небольшая разница в размерах должностных окладов, а следовательно и в заработной плате командного и рядового плавсостава различных групп судов. Проще говоря, экипаж огромного судна большой мощности грузоподъемности, управлять и обслуживать которое значительно сложнее и трудоемче, не на много больше получает зарплату, чем экипажи маленьких и средних судов, управлять и обслуживать которые значительно проще и легче, чем крупные.

Указанный недостаток резко снижает трудовую активность плавсостава, не стимулирует его стремление повышать свою квалификацию, стремление переходить от навигации к навигации с малых судов на более крупные.

Таким образом, установлено нарушение рыночных принципов дифференциации заработной платы и принципа «Минимальной зарплаты».

В ОАО «ЗСРП» в настоящее время трудятся около 400 человек, в том числе работников плавсостава 346 человек, что предопределяет актуальность активизации их мотивов трудовой деятельности посредством модернизации системы оплаты труда с позиций требований законов рынка.

Модернизация системы оплаты проводилась двумя путями.

Первый путь – приведение базового минимального размера должностного оклада матроса (2680 руб.) в соответствие со статьей 1 Федерального Закона от 24.06.2008 №91 ФЗ, которая устанавливает минимальный размер оплаты труда (МРОТ) в РФ с 01.01.2010 г. 4330 руб. (ТК РФ 2002 г. гл. 21. статья 133.)

Второй путь – предполагает более глубокую дифференциацию тарифных коэффициентов при обосновании должностных окладов других членов экипажей судов, уход от «Уравниловки».

В настоящее время при переходе от одной группы судов по оплате труда к другой тарифные коэффициенты возрастают в очень небольших пределах – от 1 до 9%, что является нарушением рыночных принципов оплаты труда, которые рекомендуют для рыночной экономики устанавливать это различие в размере не менее 25% согласно зависимости Лоренца и коэффициентов децильности и Джини.

Однако, учитывая слабые финансовые возможности пароходства и несовершенство рыночной экономики России тарифный коэффициент был принят в размере 15%.

По предложениям модернизации повременно-премиальной системы оплаты труда плавсостава были приведены экспериментальные экономические расчеты (таблица 3 и 4).

Таблица 3 – Модернизированные тарифные коэффициенты (все суда на транспортной работе, аварийно-спасательные суда, буксиры на формирование плотов, пассажирские скоростные суда, паромы)

Состав	Должность	Группа по оплате труда					
		II	III	IV	IV*	V	VI
Командный	капитан-механик	2,71	3,12	3,59	4,13	4,75	5,46
	капитан-1 помощник механика	2,51	2,88	3,32	3,81	4,38	5,04
	капитан-2 помощник механика	2,40	2,76	3,18	3,66	4,20	4,83
	капитан-3 помощник механика	2,29	2,63	3,03	3,48	4,00	4,60
	механик-1 штурман	2,40	2,76	3,18	3,66	4,20	4,83
	механик-2 штурман	2,29	2,63	3,03	3,48	4,00	4,60
	механик-3 штурман	2,09	2,41	2,77	3,18	3,66	4,21

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Продолжение таблицы 3

Состав	Должность	Группа по оплате труда					
		II	III	IV	IV*	V	VI
Командный	1 помощник механика-2 штурман	—	2,06	—	2,37	—	2,73
	1 штурман-1 помощник механика	2,00	2,30	2,65	3,04	3,50	4,02
	1 штурман-2 помощник механика	—	2,06	—	2,37	—	2,73
	2 штурман-2 помощник механика	1,70	1,96	2,25	2,59	2,98	3,42
	3 штурман-3 помощник механика	1,51	1,73	1,99	2,29	2,63	3,03
	электромеханик	—	—	2,47	2,84	3,27	3,76
Рядовой	2 штурман-2 помощник механика (вместо моторист-рулевого)	1,59	1,83	2,10	2,41	2,78	3,19
	3 штурман-3 помощник механика (вместо моторист-рулевого)	1,51	1,73	1,99	2,29	2,63	3,03
	моторист-рулевой 1 класса	1,51	1,73	1,99	2,29	2,63	3,03
	моторист-рулевой 2 класса	1,41	1,63	1,87	2,15	2,47	2,85
	моторист-рулевой 3 класса	1,23	1,42	1,63	1,87	2,15	2,47
	матрос	1,15	1,32	1,52	1,75	2,01	2,31
	электрик	—	—	1,23	1,42	1,63	1,87

*-пр.1741; пр.Р-33Б

Новые тарифные коэффициенты увеличены и приближены к общемировым. Благодаря этому увеличился разрыв между различными группами флота, что стимулирует работника продвигаться по «карьерной лестнице», увеличивая тем самым свой заработок.

Таблица 4 – Модернизированные должностные оклады (все суда на транспортной работе, аварийно-спасательные суда, буксиры на формирование плотов, пассажирские скоростные суда, паромы), руб.

Состав	Должность	Группа по оплате труда					
		II	III	IV	IV*	V	VI
Командный	капитан-механик	11752	13514	15542	17873	20554	23637
	капитан-1 помощник механика	10885	12484	14356	16510	18986	21834
	капитан-2 помощник механика	10407	11968	13763	15828	18202	20933
	капитан-3 помощник механика	9909	11396	13105	15071	17331	19931
	механик-1 штурман	10407	11968	13763	15828	18202	20933
	механик-2 штурман	9909	11396	13105	15071	17331	19931
	механик-3 штурман	9063	10422	11985	13783	15851	18228
	1 помощник механика-2 штурман	—	8920	—	10262	—	11821
	1 штурман-1 помощник механика	8664	9964	11459	13177	15154	17427
	1 штурман-2 помощник механика	—	8920	—	10262	—	11821
	2 штурман-2 помощник механика	7370	8475	9746	11208	12890	14823
	3 штурман-3 помощник механика	6523	7502	8627	9921	11409	13120
	электромеханик	—	—	10706	12312	14159	16282
Рядовой	2 штурман-2 помощник механика (вместо моторист-рулевого)	6872	7902	9088	10451	12019	13821
	3 штурман-3 помощник механика (вместо моторист-рулевого)	6523	7502	8627	9921	11409	13120
	моторист-рулевой 1 класса	6523	7502	8627	9921	11409	13120
	моторист-рулевой 2 класса	6125	7044	8100	9315	10712	12319
	моторист-рулевой 3 класса	5328	6127	7046	8103	9319	10717
	матрос	4980	5726	6585	7573	8709	10016
	электрик	—	—	—	5328	6127	7046

*-пр.1741; пр.Р-33Б

Таким образом, увеличение оклада при между II и VI группами флота составило 51,3%, то есть чуть больше, чем в два раза. Ранее между этими группами флота разница окладов в процентном соотношении колебалась от 0 до 36%.

Экономическая эффективность модернизации заключается в сопоставлении между собой суммы увеличения фонда оплаты труда (зарплата плавсостава возрастет) и прироста прибыли, получаемой за счет трудовой активизации экипажей судов (увеличение объема

перевозок и доходов от них, сокращение простоев флота под погрузо-разгрузочными работами и техническими операциями обработки флота, экономия эксплуатационных расходов по содержанию судна, активное участие на рынке транспортных услуг по поиску дополнительных грузопотоков и др.).

В конечном итоге, при переводе плавсостава на модернизированную повременно-премиальную систему оплаты труда в навигацию 2010 г. расчетный годовой экономический эффект составит 466,8 тыс. руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Овсянников, А.С. Оплата труда на речном транспорте: теория и практика: монография / А.С. Овсянников. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2010. -209 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *оплата труда, должностные оклады, тарифные коэффициенты, анализ, модернизация, экономическая эффективность*

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»*

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОПЕРАТИВНЫХ БРИГАД «ТРУДОВОЙ КОМПАНИИ»

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского»

В.Е. Верютина

METHODICAL BASIS OF OPERATIONAL GANGS ORGANIZATION FOR WORKING COMPANY IN SEAPORTS

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

V.E. Veryutina

The article considers the problem of operational complex gangs organization from a general reserve to increase their effective use in trans-shipping processes.

Keywords: machine-operators, management of using, working company, brigade forms, operational gangs

Рассмотрена задача формирования оперативных комплексных бригад из общего резерва с целью повышения эффективности их использования в перегрузочных процессах.

Как указывалось в [1] бригадные формы организации труда докеров-механизаторов морских портов прошли достаточно сложный путь развития. В начале этого пути были оперативные бригады (ОБ), которые формировались из контингентов грузчиков и механизаторов для обслуживания одной технологической линии. Неэффективность использования трудовых ресурсов привела к отказу от деления рабочих на грузчиков и механизаторов, заменив их классами портовых рабочих, и объединения их в общие постоянные комплексные бригады (КБ). Затем появились сначала укрупненные комплексные бригады (УКБ), а затем сквозные укрупненные комплексные бригады (СУКБ). Далее СУКБ были закреплены за производственными перегрузочными комплексами (ППК).

Опыт функционирования ППК с закрепленным контингентом докеров-механизаторов (Д-М) показал, что эффективное использование ДМ за ППК обеспечивается только в периоды роста или относительной стабильности загрузки ППК объемами грузопереработки. В периоды нестабильных объемов работ использование контингента Д-М, закрепленных за ППК, оказалось недостаточно эффективным. Назрела необходимость отделения Д-М от ППК и объединения их в рамках самостоятельной «Трудовой компании» /Термин «Трудовая компания» применен по опыту зарубежных портов. Фактически название компании, управляющей базой резерва Д-М, может быть любым/.

Пробные попытки организации «Трудовых компаний» в морских портах показали недостаточность методического обеспечения решения задач, выделения Д-М по заявкам ППК (стивидорных компаний). В результате эффективность использования контингента Д-М оказывается на достаточно низком уровне.

Для исправления создавшегося положения, на взгляд автора, следует совершить тот же шаг, который в свое время произошел при переходе от ОБ к КБ – отказаться от закрепления

Д-М в бригадах (и звеньях) любых форм, то есть перейти к понятию общей базы резерва Д-М. Далее возникает задача формирования оперативных комплексных бригад (ОКБ) для выполнения ПРР на конкретных объектах. Для этого нужно знать требуемое количество Д-М в бригаде и структуру бригады. Под структурой бригады следует понимать закрепление Д-М за отдельными звеньями технологической линии и требуемая квалификация Д-М в каждом конкретном звене. Нужно отметить, что с момента установления классов достаточно сильно изменился состав подъемно-транспортного оборудования (ПТО) портов. Поэтому указания класса Д-М для управления автопогрузчиком часто будет недостаточно. Очевидно, что официальные классы Д-М следует дополнить подклассами, показывающими специализацию каждого Д-М на управление соответствующим видом ПТО.

Указанные классы и подклассы Д-М определяют структуру базы данных по составу Д-М «Трудовой компании». Это означает, что в базе данных Д-М должны быть сгруппированы сначала в классы, а внутри классов в подклассы.

Возможность повторения одного и того же Д-М в разных бригадах (при автоматизированном формировании бригады) будет исключена, если ввести условный признак занятости Д-М на работах ($\varphi = 0$ или 1 – Булевы переменные). Ноль означает, что Д-М не занят на работах, единица означает, что Д-М занят на работах, то есть:

$$\varphi_i = \{0; 1\}; \text{ ПК}_{\varphi_i} = \{\text{ПК}; 0\}; \sum_j \varphi_i = 1,$$

где j – вид работ для использования подкласса Д-М;

φ_i – признак использования подкласса Д-М для выполнения работ;

ПК – номер подкласса Д-М по управлению ПТО.

Другим требованием для назначения Д-М на работу является требование равного права каждого Д-М на участие в ПРР. Это означает, что все Д-М должны одинаково чередовать выходы на работу и простои. Реально такое требование можно выполнить путем ротации Д-М при назначении их в бригады для выполнения ПРР. При этом после каждого выхода на работу конкретный Д-М на следующий выход становится в конец очереди. Здесь требуется дополнительное пояснение. Дело в том, что действующие в морских портах скользящие графики, в которых чередуются выходы на работу (по сменам режима работы порта, включая вечернее и ночное время) и выходные, гарантируют равновероятный выход каждого Д-М на работу и получение повременного заработка, установленного на период простоя. Однако он не гарантирует участие каждого Д-М в ПРР и получение им заработка с повышенной тарифной ставкой (или сдельного заработка) и стимулирующей части заработка. Поэтому и требуется обеспечить чередование участия Д-М в ПРР путем ротации очереди, как это изложено выше.

Представляется, что база данных по составу Д-М должна состоять из двух частей:

– список Д-М с распределением их по сменам трудового коллектива и классам квалификации;

– общий список Д-М с указанием классов и подклассов квалификации, возраста, специализации, стажа работы, среднего значения коэффициента трудового участия, количества персональных вызовов, последней даты участия в ПРР и других возможных сведений.

Структура второй части базы данных по Д-М должна содержать все личные данные Д-М, включая указание класса, подклассов квалификации, специализацию, средний коэффициент трудового участия (постоянно корректируемый), дату последнего выхода на ПРР, востребованность и др. Количество конкретных показателей по каждому Д-М может быть установлено самим портом в зависимости от конкретных условий выполнения ПРР в данном порту. Это относится и к определению количества подклассов.

Востребованность Д-М предложена автором как один из признаков оценки качества выполнения работ Д-М. Это означает, что, если руководство перегрузочного комплекса оценило качество работы конкретного Д-М (бригадира, крановщика, водителя автопогрузчика и др.), то оно будет стремиться заполучить этого Д-М к себе на комплекс для очередного выполнения ПРР. Отсюда следуют два вывода:

1 Следует предусмотреть возможность оформления заявки для выделения конкретного Д-М (или нескольких Д-М) на данный комплекс в данную смену.

2 Следует поощрять включение в состав заявки для выделения Д-М персональные предпочтения для отдельных категорий Д-М, рассматривая их как официальное признание качества работы отдельных Д-М. Для Д-М, которых часто запрашивают для выполнения

ПРР на комплексах, может быть введено дополнительное поощрение в виде коэффициента к заработной плате за определенное количество вызовов.

При формировании бригады необходимо также учесть, что бригадиры УКБ освобождены от работы в качестве исполнителей, а бригадиры КБ не освобождены от непосредственного участия в выполнении ПРР. Это означает, что бригадир УКБ не влияет на заполнение структуры бригады, а бригадир КБ будет занимать одну из позиций в расстановке Д-М, то есть при формировании КБ необходимо учесть:

- бригадир входит в общую численность КБ Д-М;
- необходимо определить, какую позицию в расстановке бригады будет занимать бригадир.

Исходя из изложенного, содержательная *постановка задачи формирования бригад Д-М по заявкам ППК* (или стивидорных компаний будет выглядеть следующим образом. ППК (или стивидорные компании) подают заявки на выделение бригад Д-М. В составе заявленных бригад могут быть заявлены КБ или УКБ (для обеспечения выполнения всего объема работ на ППК в текущую смену, с указанием количества технологических линий, включая обработку судна, обработку вагонов на складе и межскладские перемещения грузов. Заявка должна содержать структуру каждой технологической линии и класс квалификации Д-М для каждого звена технологической линии. В заявке могут быть указаны персональные запросы на бригадиров (звеньевых) или конкретных Д-М. При формировании бригад следует учесть приоритетность выполнения высококвалифицированных работ, как для грузов, так и для Д-М, а также социальный аспект по участию рабочих в ПРР. Следует также учесть, что бригадиры УКБ являются освобожденными от непосредственного участия в ПРР, а бригадиры (звеньевые) КБ принимают непосредственное участие в ПРР, что находит выражение в корректировке структуры заявки.

Приоритетность выполнения высококвалифицированных работ для грузов может быть учтена через показатель выполнения норм выработки (*НВ* т/чел.-смену) Д-М. Для этого заявки на технологические линии нужно упорядочить по убыванию *НВ* перерабатываемых грузов

$$HB_1 > HB_2 > HB_3 > \dots > HB_m.$$

Приоритетность выполнения высококвалифицированных работ для Д-М учитывается через установленные классы (подклассы) Д-М. Для этого нужно перебор Д-М производить, начиная с высшего класса квалификации до низшего класса квалификации.

Социальный аспект по участию рабочих в ПРР следует учесть через ротацию участия Д-М в ПРР (после каждого выхода Д-М для участия в ПРР он перемещается в конец списка).

Процедуру подбора бригад Д-М можно формализовать в виде эвристического метода, основанного на разработке расчетных алгоритмов с использованием многоуровневых функций предпочтения.

Сущность эвристических методов заключается в расчленении метода решения на относительно простые операции, которые можно разместить в определенном порядке, формируя расчетный алгоритм. «Развязки», предполагающие сложную многовариантность решения в эвристических алгоритмах, упрощаются на основе известных принципов решения задач соответствующего класса, которые по своей сути являются экспертными.

Использование «функций предпочтения» в эвристических методах предусматривает последовательность решения и перебора вариантов в соответствии с признаками, которые и называются «функциями предпочтения». К признакам, выбираемым в качестве «функций предпочтения», относятся параметры или условия, содержащиеся в исходной информации при постановке задачи, например: объем работ, трудоемкость выполнения работ, интенсивность выполнения работ, варианты работ и др. При формировании алгоритма процедуры, составляющие сущность решения задачи, упорядочиваются в порядке возрастания или убывания функции предпочтения, ранжировать которые должен сам исследователь, вводя в процесс решения экспертную оценку. Для этого не существует формальных процедур, так как отсутствует взаимосвязь между сложностью функции и качеством решения. Однако для решения некоторых задач алгоритмы, работающие по приведенной схеме, считаются единственно реальным способом их решения. При использовании эвристических методов особое внимание следует уделять разработке расчетного (моделирующего) алгоритма, так как сам алгоритм и является методом решения.

В данной задаче при разработке моделирующего алгоритма в качестве функций пред-

почтения можно выделить:

- приоритетность выполнения высококвалифицированных работ;
- приоритетность бригадиров УКБ и КБ; приоритетность класса квалификации Д-М;
- приоритетность персональной заявки на бригадира или Д-М.

Для формализации процесса формирования бригад Д-М автором разработан эвристический алгоритм, который не приведен в статье из-за ограничения по объему. Предлагаемый алгоритм может быть использован при разработке программного обеспечения для автоматизации процедуры формирования оперативных бригад Д-М по заявкам ППК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Степанец, А.В. Совершенствование управления трудовыми ресурсами морского порта / А.В. Степанец, В.М. Перцев // Проблемы транспорта Дальнего Востока: пленар. докл. пятой междунар. науч.-практ. конф. 1-3 окт. 2003 г. / ДВО Рос. акад. трансп. -Владивосток, 2003. - С. 41-50.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

докер-механизатор, управление использованием, трудовая компания, бригадные формы, оперативные бригады

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Верютина Виктория Евгеньевна, 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»

СОСТОЯНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛЫХ РЕК СИБИРИ В ПЕРИОД ФОРМИРОВАНИЯ РЫНОЧНЫХ ОТНОШЕНИЙ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.В. Зачёсов

CONDITION OF TRANSPORT USE OF THE SMALL RIVERS OF SIBERIA IN FORMATION OF MARKET RELATIONS

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.V. Zachjosov

The basic problems of increase of efficiency of river transport of Siberia by involving of the small rivers in transport system of region are stated.

Keywords: the small rivers, problems, the system approach

Изложены основные проблемы повышения эффективности речного транспорта Сибири путём вовлечения малых рек в транспортную систему региона.

Территория Сибири включает в себя три экономических района: Западная Сибирь, Восточная Сибирь и Дальний Восток. Эта огромная территория в 13 млн. км² составляет 2/3 всей территории Российской Федерации с населением немногим более 1/5 (22%) от общего количества населения России.

Потенциал экономического развития Сибири определяется в первую очередь наличием на этой территории природных ресурсов, в том числе месторождений полезных ископаемых. Основные из них: нефть – 77%; природный газ – 85%; каменный уголь – 80%; медь – 70%; никель – 68%; свинец – 85%; золото – 41%; платина – 99% от общего количества добычи полезных ископаемых на территории РФ. С начала 70-х годов XX-го века территория Сибири стала главной минерально-сырьевой базой нашей страны и в будущем сохранит за собой лидирующие позиции в топливно-энергетическом комплексе. Широко стали развиваться такие отрасли как топливно-энергетическая, нефтехимическая, лесоперерабатывающая и другие отрасли народного хозяйства. Такой энергетический потенциал страны требует особого внимания со стороны государства и правительства. Так в 2002 году правительством РФ была утверждена Стратегия экономического развития Сибири, которая оценивает место региона в российской экономике исходя из его огромных ресурсных возможностей. Возникает необходимость, в рамках стратегии развития, обустройства рабочих площадок, бурения скважин, строительства зданий и сооружений, прокладке транспортных коммуникаций. В то же время, топливно-энергетическая база Сибири формируется в сложной географической среде: заболоченная местность, многолетняя мерзлота в северных районах, отдалённость от

европейских регионов, сложность и дороговизна возведения капитальных объектов, в том числе и транспортных.

Развитие транспортной инфраструктуры на территории Сибири имеет важное народно-хозяйственное и экономическое значение. Природные богатства и трудовые ресурсы на территории Сибири и в целом по стране распределены неравномерно. Также неодинаково развиваются и производительные силы, отражая в своём развитии специфику отдельных районов, обусловленную географическим положением, наличием природных и трудовых ресурсов, а также транспортных связей. Сегодня большинство отечественных энергоёмких производств расположено в европейской части страны, а топливно-энергетические ресурсы – главным образом по другую сторону от Урала, на удалении трёх и более тысяч километров от потребителей. На значительные расстояния приходится перевозить лесные грузы, продукцию ГМК «Норильский никель», цветные и драгоценные металлы, алюминиевую продукцию. В рамках данной стратегии развития Сибири основная задача, стоящая перед транспортом, - обеспечить вывоз сырья за пределы региона (в том числе и в страны Юго-Восточной Азии и Европы), а также завоз промышленных и продовольственных товаров, необходимых для развития производительных сил и жизнедеятельности населения Сибири, особенно районов Крайнего Севера и Заполярья. В то же время, строительство искусственных транспортных путей, таких как – автомобильные, железнодорожные, строительство взлётно-посадочных полос для воздушного транспорта, а также их содержание в суровых климатических условиях Сибири является весьма дорогостоящим мероприятием. Альтернативой этим видам транспорта является естественная, широко разветвлённая сеть водных путей в регионе. Территория Сибири обладает значительными и разнообразными запасами водных ресурсов. Основные из них, морские и речные. К морским водным путям (Северный морской путь, Обская и Тазовская губы) примыкают около 40 тыс. км судоходных речных путей Обь-Иртышского, Енисейского, Ленского и Амурского бассейнов и включают в себя как магистральные реки, так и малые водные пути, так называемые «малые реки».

Малые реки в транспортной системе Сибири играют особую роль. Протяжённость этой категории водных путей составляет более половины длины речных магистралей региона. В большинстве районов они оказываются основным и даже единственным видом транспортных путей, ориентированных на перевозку массовых грузов и пассажиров и оказывают существенное влияние на развитие производительных сил и в целом на социально-экономическую ситуацию в регионе. Очевидно, что освоение природных богатств Сибири невозможно без участия этой категории водных путей. Так в 2003 году правительство РФ одобрило и утвердило Концепцию развития внутреннего водного транспорта, в которой говорится о необходимости расширения географии судоходства на внутренних водных путях Сибири и Дальнего Востока. В частности, в составе основных задач по улучшению условий функционирования и повышения конкурентоспособности отрасли выделяются задачи по увеличению протяжённости внутренних водных путей с гарантированными габаритами судового хода и освещаемой обстановкой. В первую очередь это касается малых рек. В связи с этим, предусматривается создание судоходных условий доставки грузов во вновь осваиваемые труднодоступные районы, прежде всего в районы Крайнего Севера, в том числе по малым и быстромелеющим рекам, расширение географии перевозок за счёт освоения районов со слабо развитой транспортной инфраструктурой, включая развитие перевозок по малым рекам Сибири и Дальнего Востока.

Несмотря на всю важность, необходимость и востребованность малых рек в транспортном отношении, эксплуатация этой категории водных путей имеет ряд проблем и особенностей.

К основным особенностям эксплуатации малых рек можно отнести: ограниченные габариты судового хода, ограниченный период навигации, необорудованные берега (отсутствие причальной стенки, перегрузочной техники), взаимодействие крупнотоннажного и малотоннажного флота, дефицит малотоннажного флота, работа флота в суровых климатических условиях, отсутствие судоходной обстановки.

Ситуация на внутренних водных путях Сибири характеризуется рядом проблем. В бассейнах Сибири и Дальнего Востока в настоящее время насчитывается более двухсот пригодных для судоходства малых водных путей, но это лишь 40% от всех малых рек, расположенных в регионе. С началом проведения экономических реформ в нашей стране перевозки по малым рекам существенно сократились, резко ухудшились эксплуатационно-экономические показатели работы флота. За минувшие пятнадцать лет объем перевозок

грузов здесь сократился в 6 раз, а по отдельным судоходным компаниям в 15 раз. Производительность сухогрузного флота упала в 2-3 раза, буксирного – 1,5 раза. Убыточными для судоходных компаний стали и социально значимые пассажирские перевозки. Стоимость проезда, которую устанавливают субъекты Федерации, не покрывает убытков от осуществления этих перевозок судоходными компаниями. Государственные бассейновые управления водных путей и судоходства из-за отсутствия должного финансирования практически прекратили поддерживать судоходные условия; на ряде участков снята освещаемая обстановка, и флот работает только в светлое время суток. Транспортный флот Сибири морально и физически устарел, свыше 70% его судов имеют критический срок службы. Председатель Торгово-промышленной палаты Евгений Примаков 7 сентября 2005 года в Нижнем Новгороде в ходе круглого стола на тему «Стратегия развития транспорта России на период до 2010 года» отметил, что проблемы транспортного использования рек, в том числе и малых связаны: во первых с ухудшением пропускной способности рек, во вторых – с ростом налоговой базы для предприятий речного флота. Рост налогов ведёт к увеличению тарифов на перевозки, несмотря на то, что для ряда других отраслей объем платёжных требований наоборот сокращается. Кроме того, речной флот России долгое время не обновлялся. В рыночных условиях, которые включают в себя наличие конкурентоспособности, риск и неопределённость при осуществлении перевозок грузов и пассажиров, очень нелегко привлечь в отрасль частные инвестиции. «Если в сложившейся ситуации правительство страны не обратит внимание на проблемы речников, связанные с осуществлением их основной деятельности, мы можем потерять речной транспорт как отрасль», – отметил председатель ТПП. Развитие внутреннего водного транспорта, по словам Примакова, необходимо «как бизнесу, так и государству» и позволит выполнить задачу по удвоению ВВП.

Существует множество проектов развития транспортной сети на территории Сибири. Наиболее перспективными для речников являются развитие одного из важнейших транспортных коридоров СМП и строительство Сибирчпути. СМП связывает между собой северные регионы на протяжении около шести тысяч километров и пока является единственным за Полярным кругом транспортным путём, предназначенным для перевозки массовых грузов и пассажиров. Крайне важная функция СМП – совместно с речным транспортом обеспечивать северный завоз грузов в экстремальных условиях короткой навигации. Строительство Сибирчпути решает проблему перевозки грузов и пассажиров в широтном направлении через азиатскую часть России и связано прежде всего с проектированием и строительством следующих гидротехнических объектов: Обь-Иртышский канал на западе системы, Обь-Енисейское соединение в центральной её части и сквозное судоходство по Ангаре, а также Енисей-Ленское соединение в восточной части системы. Очередность и сроки сооружения этих объектов необходимо устанавливать посредством всестороннего анализа экономических и природных предпосылок. В этом случае наиболее быструю экономическую отдачу по схеме «затраты-результаты» даёт транспортная функция рек. Соединение единым водным путём основных территориально-производственных комплексов сначала Сибири и азиатской части, а затем всей страны будет означать глубокое преобразование экономики Сибири, переход её на более высокую ступень развития.

Создание единой субширотной речной системы, которая бы использовалась как судоходная магистраль, является основной проблемой улучшения использования речных систем в народном хозяйстве, исходя из географических, экономических, социальных и экологических предпосылок. Реконструкция водных путей на всём протяжении потребует изменения на отдельных участках уровней воды, которые успешно используются для получения дешёвой электроэнергии. Появление дополнительных запасов воды решает вопросы мелиорации. Кроме того, любой транспортный путь сосредотачивает вокруг себя постоянно развивающиеся производительные силы, способствует освоению прилегающих территорий.

В случае, если вышеуказанные проекты будут реализованы, единственными связями между транспортными коридорами в меридиональном направлении становятся магистральные и малые водные пути Обь-Иртышского, Енисейского и Ленского бассейнов. В местах пересечения железнодорожных и водных путей организуются воднотранспортные узлы в Омске, Тобольске, Салехарде, Сургуте, Новом Порту, Новосибирске, Томске, Абакане, Лесосибирске, Игарке, Дудинке, Иркутске, Осетрово, Ленске, Якутске, Тикси и в других населённых пунктах. В основном эти порты готовы принять дополнительные объёмы грузов в смешанном сообщении.

Стратегической задачей речного транспорта Сибири в данных условиях является интег-

рирование внутренних водных путей в общую транспортную систему восточных районов и в России в целом, выход на мировой уровень по техническим параметрам и по качеству услуг.

Научно-исследовательские и проектные организации ныне активно работают над тем, чтобы использовать эту систему в глобальных транспортных коридорах широтного и меридионального направлений, а также в региональных связях на территории Сибири. Появляются соответствующие проекты программ.

В то же время необходимо решать и менее глобальные, но не менее важные вопросы развития отрасли. В этой связи было бы полезным вспомнить опыт 70-х годов прошлого столетия, когда на территории Сибири работали целые экспедиции с целью проведения рекогносцировочных изысканий. Эти изыскания проводились с целью сбора материалов, необходимых для составления проектного задания по дальнейшему использованию того или иного водного пути в качестве транспортного коридора. Важнейшей задачей изысканий является выбор такого направления, при котором наилучшим образом будут удовлетворены требования народного хозяйства на перевозки и потребует как можно меньших затрат на строительство судоходного пути. Благодаря таким изысканиям именно речной транспорт в своё время сыграл пионерную роль в освоении месторождений нефти и газа Западной Сибири, и именно он начал поставлять первые тонны нефти на территорию Европы. Эта задача может быть выполнена только в результате широкого обследования местных природных условий, определяющих объёмы и стоимость работ по тем или иным техническим требованиям. Должны быть учтены все условия эксплуатации водного пути, а также удобство связи с другими транспортными путями, жилыми и производственными объектами. На сегодняшний день решение этой большой и сложной задачи особенно важно в рамках стратегии развития ВВТ на территории Сибири.

Также важно помнить, что водная артерия, это прежде всего вопрос жизнеобеспечения людей, а не только транспортный путь. Она является источником водоснабжения, гидроэнергии, а также выполняет дренажные функции, и является коллектором промышленных и хозяйственных стоков. В районах обустройства через реки прокладываются трубопроводы, мосты, линии электропередач, ведётся строительство небольших ГЭС без учёта их транспортного использования. Нередко в последующем оказывается, что такая река является единственной магистралью развивающегося района, обеспечивающей не только транспортные потребности, но и вопросы жизнедеятельности людей.

Следующие вопросы, на которые необходимо обратить особое внимание, это – ликвидация дефицита грузового и пассажирского флота, а также обновление уже существующего, внедрение ноосферных транспортных средств (особенно в районах Крайнего Севера и Заполярья, где период навигации крайне ограничен), восстановление проведения путевых работ (дноуглубительные, выправительные работы, наличие судоходной обстановки), строительство причальных сооружений, обеспечение причалов и набережных перегрузочной техникой и т.д. При этом, руководствуясь рыночными принципами, не всегда целесообразно строить капитальные причальные сооружения. В условиях вечной мерзлоты и относительно малым грузооборотом наиболее выгодным и эффективным с экономической точки зрения было бы использование флота с судовыми кранами, временных сборно-разборных комбинированных площадок для погрузо-разгрузочных работ, а также возведение ледовых причалов. Ещё одним из перспективных направлений развития транспортного потенциала малых рек, может стать более широкое использование паромных переправ, являющихся по существу водным участком автодороги местного значения. К примеру, между небольшими населёнными пунктами с редким транспортным потоком, при котором строить мост просто экономически невыгодно. Осуществление такой задачи может стать хорошей площадкой для реализации государственно-частного партнёрства между региональной властью и судовладельцами. Все эти вопросы невозможно решить без помощи как на федеральном, так и региональном уровнях.

Ещё несколько лет назад перспективы речной отрасли не были ясны даже руководителям крупных речных портов и пароходств. В свете хронического недофинансирования содержания магистральных водных путей говорить о проблемах судоходства на малых реках было просто несвоевременно. На сегодняшний день и в бюджете страны, и в подпрограмме «Внутренний водный транспорт» ФЦП «Развитие транспортной системы России на 2010-2015 гг.» средства выделяются в полном объёме. В Обь-Иртышском пароходстве с уверенностью говорят о стабильных договорных отношениях с крупнейшими подрядчиками нефтяной, газовой и строительной индустрии: ОАО «Роснефть», ООО «Надымгазпром»,

ОАО «Сургутнефтегаз», ОАО «Ханты-Мансийскдорстрой» и т.д. В ХМАО по программе развития водного транспорта также обновляется парк современных скоростных пассажирских судов. В регионе на более чем тридцати пассажирских линиях работает компания «Северречфлот», созданная правительством округа 10 лет назад. Для «Северречфлота» приобретены не только «Метеоры», «Восходы», но и мелкосидящие и экономичные суда для боковых и малых рек типа «Иртыш».

Большие надежды речников на обновление флота связаны с постановлением Правительства РФ от 22.05.2008 г. №383 о предоставлении субсидий российским транспортным компаниям и парокходствам на возмещение части затрат на уплату процентов по кредитам, полученным в российских кредитных организациях в 2008-2010 годах на закупку гражданских судов. Более того, президентом страны поставлена задача внедрения природоохранных и ресурсосберегающих технологий, которые крайне важны при ведении хозяйственной деятельности на малых реках России. Остаётся надеяться, что коренные преобразования в речной отрасли, для которых уже заложена необходимая финансовая и нормативно-правовая база, не обойдут стороной и малые реки.

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»*

ОПЕРАТИВНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ НА РЕЧНОМ ТРАНСПОРТЕ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

И.С. Дерябина

OPERATIVE MANAGEMENT ON RIVER TRANSPORT

«Novosibirsk state academy of water transport»

I.S. Derjabina

Conceptual bases of working out of a subsystem «Operative management» on river transport are considered.

Keywords: operative management, situational modeling, the system approach

Рассматриваются концептуальные основы разработки подсистемы «Оперативный менеджмент» на речном транспорте.

Переход России к новому институциональному укладу и рыночной экономики породил множество новых проблем управления социально-экономическими системами, в том числе и на речном транспорте, предопределил необходимость кардинального изменения и перестройки сложившегося подхода и методов оперативного управления транспортным процессом в условиях перехода предприятий и объединений на рыночные отношения.

Дальнейшее развитие речных перевозок, улучшение эксплуатационно-экономических показателей работы флота невозможны без эффективности системы и методов оперативного управления флота и портов на основе демократизации управления основной деятельностью судоходных компаний, отказа от административно-командного стиля руководства и обеспечения оптимального оперативного планирования, прогнозирования и диспетчерского регулирования транспортного процесса в новых экономических условиях.

В связи с этим к методам оперативной работы предъявляются повышенные требования, поскольку любое необоснованное управленческое решение может повлечь за собой значительные материальные и экономические потери и нежелательные убытки.

Анализ теории и практики оперативного управления работой речного флота показал, что оперативное управление следует рассматривать как обособленный во времени, самостоятельный вид управленческой деятельности, работающий в реальном масштабе времени и что проблема его совершенствования может быть решена только путем автоматизации расчетов с применением экономико-математических методов, элементов вычислительной техники и информационных технологий.

В то же время известно, что без предварительного рассмотрения общих вопросов управления деятельностью судоходной компании любое частное решение неизбежно при-

ведет к дополнительным издержкам, связанных с исполнением ограничений, которые накладывает общая система управления.

В доперестроичный период на речном транспорте страны проводились обширные исследования по разработкам и внедрению АСУ «Речфлот»,

АСУ «Пароходство», АСУ «Диспетчер» и многих других важнейших проблем и задач по развитию отрасли.

В то же время следует отметить, что вопрос создания эффективных систем управления предприятиями речного транспорта на разных уровнях не был решен на достаточно высоком научно-техническом уровне и в полном объеме. Экономические реформы, проводимые в России по различным причинам надолго задержали решение этой проблемы. Были упразднены вычислительные центры, закрыты научно-исследовательские и проектные организации, которые вели эти работы, утрачены квалифицированные кадры.

Однако, руководствуясь стратегическими интересами предприятий речного транспорта в настоящее время работы, проводимые 20-25 лет назад по созданию АСУ различных уровней, начинают реанимироваться, но уже на новой основе, поскольку существенно обновлись технические средства управления, меняются критерии функционирования речных предприятий, успешно работающие модели и методы решения эксплуатационно-экономических задач в условиях административно-плановой экономики нуждаются в обновлении и корректировке.

Проведенный анализ состояния оперативного управления работой транспортного флота показал, что существующая система обладает рядом недостатков. Основные из них следующие:

- рассчитываемые в настоящее время оперативные планы базируются на опыте диспетчерского аппарата с использованием явно недостаточной и устаревшей информации;
- существующие методы расчета не позволяют получать оптимального решения;
- ведение транспортного процесса в оптимальном режиме в оперативной обстановке возможно только в условиях функционирования АСУ.

Отмеченные недостатки можно нейтрализовать, если рассматривать вопросы управления работой флота судоходной компании с позиций системного подхода, который позволяет ставить и решать все задачи оперативного управления работой флота в составе отдельно выделенной подсистемы «Оперативный менеджмент».

Профессор Винокуров С.Г. [1] рассматривает оперативное управление как самостоятельный вид управления производством, который характеризуется следующим содержанием:

*Оперативное управление = оперативное планирование +
+оперативный учёт + оперативный контроль + оперативное принятие решения +
+оперативное регулирование
(управляющее воздействие).*

Исследованиями ФГОУ ВПО «НГАВТ» по проблемам оперативного менеджмента применительно к работе транспортного флота подтверждают, оперативный менеджмент признается как самостоятельный вид управления. Однако по содержанию и последовательности реализации функций он отличается от вышеизложенного и представляется в следующем виде:

- оперативный анализ работы флота;
- прогнозирование движения и дислокации флота;
- оперативное планирование;
- организация движения;
- анализ конкретной ситуации;
- диспетчерское регулирование движения флота;
- оперативный контроль;
- выработки и принятие управленческого воздействия;
- оценка принятого решения.

Предполагается, что такая подсистема позволит быстро оценить сложившуюся ситуацию и принять решение в соответствии с поставленными целями.

Системный подход в вопросах оперативного управления по своему содержанию обеспечивает комплексное изучение основной деятельности судоходной компании как единого целого с позиций системного анализа, который предусматривает комплекс мероприятий по

развитию и совершенствованию системы управления работой судоходной компании в целом и отдельных её звеньев.

Последовательность разработки подсистемы «Оперативный менеджмент» в составе системы АСУ «Пароходство», АСУ «Порт» и др. по форме остается классической: предпроектное обследование, техническое и рабочее проектирование, внедрение в производство.

Структура разработки подсистемы по видам обеспечения также не меняется: информационное, математическое и техническое. В то же время все виды обеспечения должны быть системно-ориентированы и исполняться на базе системного подхода и имитационного моделирования (рисунок).

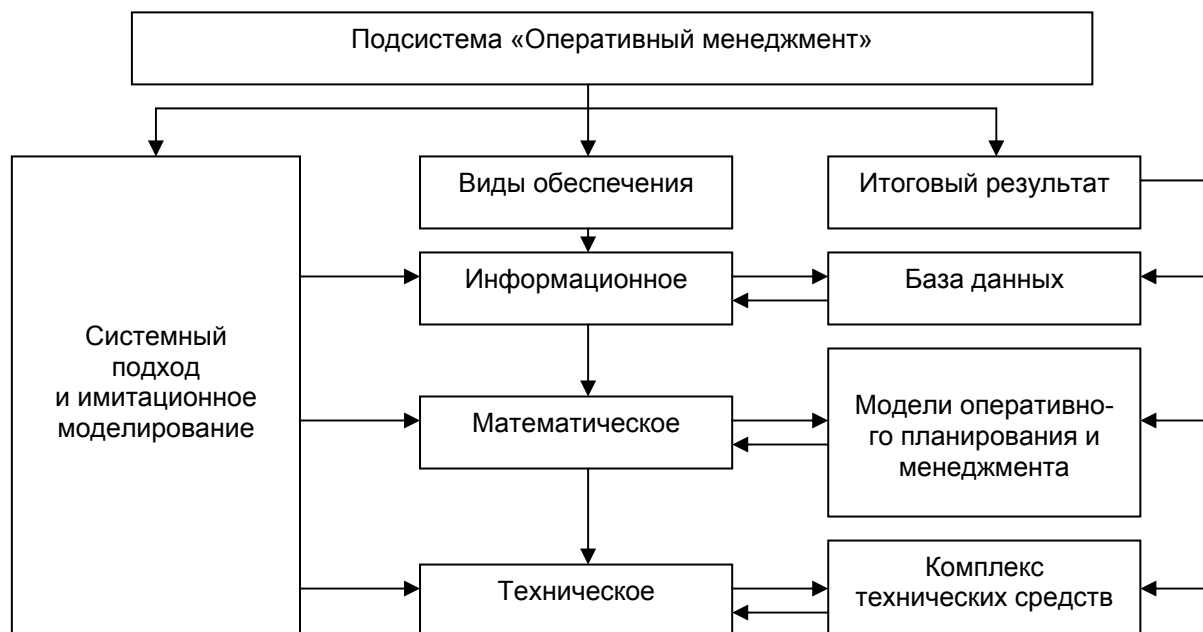


Рисунок – Структура разработки подсистемы «Оперативный менеджмент»

В то же время качественный состав подсистемы, в части постановки отдельных задач, разработки экономико-математических моделей и выбор методов решения не остается в прежнем виде, а формируется в соответствии с основными принципами деятельности судоходной компании в рыночных условиях, имея ввиду повседневное наличие коммерческого риска, неопределенности, конкуренции и других рыночных параметров, которые необходимо учитывать при выработке и принятии управленческих решений в оперативной обстановке.

Оперативный менеджмент среди видов оперативного управления является одним из самых сложных и наименее исследованных [2]. Отсюда следует вывод о том, что повышение эффективности работы флота в звене оперативного управления может быть обеспечено за счет применения принципов системного подхода и имитационного моделирования с использованием современных информационных технологий, поскольку системный подход требует учета всех параметров, существенно влияющих на результаты решения, а следовательно адекватно описывающий ситуацию в масштабе реального времени.

Имитационное моделирование в менеджменте представляет собой разработку моделей реальной ситуации и выполнения экспериментов с целью понять, как может измениться ситуация.

Сложные задачи оперативного управления и регулирования работы транзитных судов рекомендуется решать методом ситуационного моделирования, когда управленческие решения принимаются по мере возникновения проблем в соответствии со складывающейся экономической ситуацией. При этом ситуацию в контексте оперативного менеджмента следует понимать как обстановку, которая возникает на основе стечения, совокупности каких-либо условий и обстоятельств.

Сущность ситуационного управления состоит в том, что в памяти вычислительной машины создается имитационная модель структуры в соответствии с закономерностями функционирования большой системы. Профессор Захаров В.Н. предлагает строить имитационную модель в системе ситуационного управления на основании качественного и количественного, представления процессов оперативного планирования и управления работой флота.

та, отображения существенных входных и выходных величин и внутренних характеристик, максимально приближенных к реальным условиям.

Задача состоит в следующем. Имеется ситуация $S(t)$ на момент времени t . Необходимо в результате моделирования получить такое решение $U(t)$, которое бы при наличии нескольких допустимых решений обеспечило оптимальное использование флота [3]

$$U(t) = f[S(t)].$$

Решение сложных эксплуатационно-экономических задач оперативного управления работой транспортного флота рекомендуется проводить в следующей последовательности.

- 1 Постановка задачи.
- 2 Подготовка исходной информации.
- 3 Разработка модели и методов решения.
- 4 Обоснования критериев оптимальности.
- 5 Разработка альтернатив, прогноз и оценка различных вариантов.
- 6 Выбор и оформление решения с оценкой его эффективности.

Многовариантность процедур и методов решения ситуационных задач управления работой флота приводит к необходимости разработки экономико-математического и технического аппарата, предназначенного для рационального решения ситуации. Такого аппарата на речном транспорте пока нет. Однако потенциальные возможности научных, проектных и производственных подразделений отрасли способны выполнить такие работы в составе АСУ при условии финансовой поддержки этих исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Винокуров, С.Г. Модели и методы оперативного менеджмента /С.Г. Винокуров. -М.: Экономика, 2003. -207 с.
- 2 Дерябина, И.С. Пути совершенствования оперативного управления работой флота в новых экономических условиях / И.С. Дерябина // Сиб. науч. вестн. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2009. -Вып. XII. -С. 174-177.
- 3 Захаров, В.Н. Организация работы речного флота / В.Н. Захаров, В.П. Зачёсов, А.Г. Малышкин. -М.: Транспорт, 1994. -287 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА оперативный менеджмент, ситуационное моделирование, системный подход
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Дерябина Ирина Сергеевна, соискатель ФГОУ ВПО «НГавт»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ПРОЦЕССНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВОМ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ ОРГАНИЗАЦИИ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университета имени академика М.Ф. Решетнева»
Енисейский филиал ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.А. Бойко, Н.В. Бахмарева

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF TOOLS OF THE PROTSESSNO-FOCUSED MANAGEMENT OF REPRODUCTION OF THE BASIC PRODUCTION ASSETS OF THE ORGANISATION
«Siberian state space university of the name of academician M.F. Reshetneva»
Yenisei branch «Novosibirsk state academy of water transport»
A.A. Boyko, N.V. Bahmareva

Principles of designing of tools management process-focused are offered

Keywords: the designing principles, the process-focused management, reproduction, the basic production assets

Предлагаются принципы проектирования инструментов процессно-ориентированного управления.

Повышение эффективности воспроизводства основных производственных фондов (ОПФ) – одна из основных задач предприятий машиностроения. Негативная тенденция в

воспроизводственном процессе приводит к тому, что эффективность деятельности предприятий данной отрасли постоянно падает: растет себестоимость, снижается качество продукции и, как следствие, падает рентабельность производства. Организация управления воспроизводством ОПФ на современных российских предприятиях весьма далека от совершенства. Сегодня основанные на традиционном разделении функции структуры управления машиностроительных предприятий не соответствуют количественным и качественным изменениям в технической базе производства, а так же не могут выполнять возросшие задачи по ее использованию. Поэтому требуется поиск новых, более эффективных форм управления этой сферой [1].

Решение этих проблем может быть осуществлено путем применения процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ на машиностроительных предприятиях. Для успешной реализации процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ необходимо использовать комплекс инструментов :схема цепочек создания ценности (ЦСЦ); система бизнес процессов (СБП); система показателей управления (СПУ); регламентация процессов; матрица распределения административных задач управления (РАЗУ) [2].

Для эффективного применения указанных инструментов необходимо сформулировать принципы их построения, которые должны основываться на общих принципах процессно-ориентированного управления описанных в стандартах ИСО серии 9001 и учитывать особенности процесса воспроизводства ОПФ.

Основополагающими принципами процессно-ориентированного управления являются следующие: ориентация на потребителя; лидерство руководителя; вовлечение работников; процессный подход; системный подход к менеджменту; постоянное улучшение; принятие решений, основанное на фактах; взаимовыгодные отношения с поставщиками.

Соответствие принципов менеджмента качества (МК) и инструментов процессно-ориентированного управления (ПОУ), с помощью которых они реализуются на практике, представлены в таблице.

Таблица – Соответствие принципов МК и инструменты процессно-ориентированного управления (ПОУ)

Принципы МК	Содержание принципа	Инструменты ПОУ
Ориентация на потребителя	Организация зависит от своих потребителей и поэтому должна понимать настоящие и будущие потребности потребителей, выполнять требования потребителей и стремиться превзойти ожидания потребителя	Схема цепочек создания ценности (ЦСЦ)
Взаимовыгодные отношения с поставщиками	Организация и поставщики взаимозависимы, и их взаимовыгодные отношения увеличивают их способность создавать ценность	
Лидерство руководителя	Лидеры устанавливают единство цели и руководства в организации. Они создают и поддерживают среду, в которой работники могут быть полностью вовлечены в достижение целей организации	Регламентация процессов; Матрица РАЗУ
Вовлечение работников	Персонал на всех уровнях составляет основу организации, и его полное вовлечение позволяет использовать его способности на благо организации	
Процессно-ориентированный подход	Желаемый результат достигается более эффективно, когда соответствующими ресурсами и видами деятельности управляют как процессом	Система бизнес-процессов (СБП)
Системный подход к менеджменту	Определение, понимание и управление системой взаимосвязанных процессов улучшает результативность и эффективность организации	
Постоянное улучшение	Неизменной целью организации должно стать постоянное улучшение	Система показателей управления (СПУ) процессами
Принятие решений, основанное на фактах	Эффективные решения основываются на анализе данных и информации	

Цепочка создания ценности (ЦСЦ) позволяет реализовать два принципа процессно-ориентированного управления в соответствии с ИСО серии 9001 – «ориентация на потребителя» и «взаимовыгодные отношения с поставщиками».

Цепочка создания ценности:

- визуализирует целенаправленный продуктовый поток деятельности организации;
- позволяет сделать акцент на наиболее важных системообразующих процессах;
- осуществляет сквозную увязку деятельности межфункциональных подразделений (от поставщика до потребителя);
- создает основу для дальнейшей декомпозиции процессов деятельности организации (построение системы бизнес-процессов деятельности организации);
- позволяет четко и логично определить процессы управления деятельностью организации;
- позволяет сфокусировать внимание межфункциональных процессов на его конечных результатах (осуществить ориентацию на создание ценности для потребителя).

Результатом построения схемы ЦСЦ является четкая и структурированная картина процессов организации.

Система бизнес-процессов позволяет реализовать принципы: «процессно-ориентированный подход» и «системный подход к менеджменту».

Корректно построенная система бизнес-процессов:

- обеспечивает возможность интеграции деятельности подразделений организации для выполнения стратегических целей;
- позволяет организовать процессно-ориентированное управление организацией и осуществлять деятельность по улучшению процессов;
- позволяет представить деятельность организации в виде системы взаимосвязанных бизнес-процессов;
- обеспечивает эффективное межфункциональное взаимодействие между подразделениями организации;
- позволяет разработать систему показателей для управления процессами и ориентировать процессы на достижение стратегических целей организации;
- служит основой для совершенствования организационной структуры предприятия.

Итогом работы является система организованных, взаимосвязанных и эффективно управляемых процессов организации.

Система показателей управления (СПУ) процессами позволяет реализовать важные принципы функционирования системы менеджмента качества в соответствии с ИСО серии 9001 – «постоянное улучшение» и «принятие решений, основанное на фактах».

Система показателей управления:

- позволяет создать механизм контроля и анализа эффективности бизнес-процессов организации как по отношению к стратегическим целям, так и к требованиям внутренних и внешних потребителей;
- позволяет контролировать операционную эффективность и улучшение процессов организации;
- позволяет формировать базу данных для принятия эффективных управленческих решений.

Построенная на основе процессов система показателей может быть использована для определения показателей структурных подразделений организации.

Матрица РАЗУ позволяет реализовать второй и третий принципы МК: «лидерство руководителя» и «вовлечение работников».

Матрица РАЗУ:

- позволяет установить ответственность исполнителей и руководителей за совокупность работ по бизнес-процессам организации;
- позволяет согласовать структуру процессов организации с организационной структурой управления;
- способствует выявлению зон безответственности, устранению фрагментарности управления, как при выполнении отдельных процессов организации, так и на межфункциональном уровне.

Далее перейдем непосредственно к формулированию принципов построения инструментов процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ. Предложенные принципы, достаточно системно и с необходимой полнотой, отражают основные требования

к управлению воспроизводством ОПФ и показывают направления конструктивной деятельности по управлению данным процессом.

Для цепочки создания ценности воспроизводства ОПФ. Принцип разделения форм воспроизводства ОПФ: реализуется путем разработки схемы ЦСЦ воспроизводства ОПФ и ее разделения на две ЦСЦ (натуральную и стоимостную). Такой подход обеспечивает визуализацию процесса воспроизводства ОПФ и его форм в виде укрупненной модели, в которой присутствует четкость и логика при определении процессов управления и существует реальная возможность принимать ключевые управленческие решения.

Принцип необходимой полноты и детальности: при разработке схем ЦСЦ воспроизводства ОПФ показываются лишь основные стадии этого процесса. Степень полноты и детальности должна быть такой, чтобы схема цепочки адекватно отображала воспроизводство оборудования и могла использоваться для принятия решений по его реализации.

Принцип системообразующих связей: при разработке схем ЦСЦ воспроизводства ОПФ отражаются основные материальные, стоимостные и информационные системообразующие связи. Соблюдение данного принципа предполагает также согласованность в организации и реализации данных связей.

Принцип обратной связи: при описании бизнес-процессов управления ЦСЦ отражаются информационные потоки обратной связи как внутри каждой ЦСЦ в натуральной и стоимостной формах, так и между ними.

Для системы бизнес-процессов (СБП) воспроизводства ОПФ. Разделения форм воспроизводства ОПФ: СБП воспроизводства ОПФ должна строиться с учетом натуральной и стоимостной форм воспроизводства ОПФ.

Эффективности управления: целью построения СБП воспроизводства является повышение эффективности управления этим процессом.

Единства действий: построение СБП воспроизводства ОПФ должно быть ориентировано на обеспечение эффективного межфункционального взаимодействия всех подразделений участвующих в этом процессе с ориентацией их на конечный результат

Совмещения основных и вспомогательных бизнес-процессов: при построении СБП воспроизводства ОПФ необходимо отражать как основные, так и вспомогательные бизнес-процессы.

Для системы показателей (СП) управления воспроизводством ОПФ. Принцип стратегической направленности: реализуется через построение СП с учетом выбранного варианта (стратегии) воспроизводства ОПФ.

Принцип операционной результативности и эффективности: СП должна обеспечивать измерение операционной результативности и эффективности воспроизводства ОПФ не зависимо от выбранного варианта воспроизводства ОПФ.

Принцип измеряемой потребительской удовлетворенности: СП должна давать возможность измерять удовлетворенность потребителя как результатами входящих бизнес-процессов так и результатами всей системы бизнес-процессов.

Принцип комплексности: комплексный подход при разработке показателей всей системы бизнес-процессов так и для каждого процесса в отдельности. При разработке показателей всей системы процессов и каждого отдельного процесса воспроизводства ОПФ необходимо рассматривать показатели по формам воспроизводства и категориям (индикативные, стратегические, операционные).

Принцип процессной ориентации: СП должна привязываться к процессам и только потом использования для определения показателей структурных подразделений.

Предложенные принципы проектирования инструментов процессно-ориентированного управления создают основу для эффективного внедрения и совершенствования процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ на машиностроительных предприятиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кукурцев, А.В. Методика перехода к управлению организацией на основе процессного подхода: монография / А.В. Кукурцев., А.А. Бойко; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. -Красноярск, 2008. -180 с.

2 Репин, В.В. Бизнес-процессы компании: построение, анализ, регламентация / В.В. Репин. -М.: Стандарты и качество, 2007. -240 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА принципы проектирования, процессно-ориентированное управление, воспроизводство, основные производственные фонды

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Бойко Андрей Анатольевич, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СибГАУ»
Бахмарева Наталья Владимировна, ст. преподаватель Енисейский филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 660014, г. Красноярск, пр. Красноярский рабочий, 31, ГОУ ВПО «СибГАУ»
660025, г. Красноярск, пер. Якорный, 3, Енисейский филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА НА ПЕРЕГОНЕ С ПОМОЩЬЮ КВАДРАТУРНЫХ ФОРМУЛ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»
Тайгинский институт железнодорожного транспорта, филиал
ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, А.С. Талызин, Е.И. Селиванов, Н.В. Есин

ANALYTICAL WAY OF CALCULATION OF TIME OF MOVEMENT OF A TRAIN ON A STAGE WITH THE HELP QUADRATURE FORMULAS

«Omsk state transport university»
Tajginsky institute of a railway transportation, branch «Omsk state transport university»
Sh.K. Ismailov, O.V. Gateljuk, A.S. Talyzin, E.I. Selivanov, N.V. Yesin

In article the substantiation of refusal of a graphic method of calculation of boiling time of a course is given and the analytical method of calculation of this time with the help quadrature formulas is described. It is resulted concrete examples of calculation of time of a course on a stage for several trains by an offered technique

Keywords: train, course time on a stage, quadrature formulas, a calculation example

Дано обоснование отказа от графического метода вычисления перегонного времени хода и описан аналитический метод расчета этого времени с помощью квадратурных формул. Приведен конкретные примеры расчета времени хода по перегону для нескольких поездов по предлагаемой методике.

В современных условиях роста грузоперевозок на железных дорогах Российской Федерации для повышения их провозной и пропускной способности необходимо улучшение планирования поездной работы и четкого взаимодействия графиков поездов всех видов движения. Проведенная реконструкция путевого хозяйства позволила существенно повысить скорости движения поездов. Так, например, за последние двадцать лет среднее время нахождения в пути пассажирского поезда между станциями Новосибирск-Главный и Омск-Пассажирский при расстоянии между ними в 627 км уменьшилось с 10 до 7,5 ч.

В условиях повышения скоростей движения поездов, роста грузопотока при составлении графиков движения пассажирских, грузовых, а особенно пригородных поездов, возникает необходимость увеличения точности вычисления времени движения поезда по перегону до нескольких секунд.

Традиционный графический метод вычисления времени перегонного хода [1] позволяет это сделать с точностью до минуты, что было вполне достаточно для невысоких скоростей. Предлагаемый метод при его простой реализуемости в среде Microsoft Excel позволит существенно увеличить точность вычислений.

Пусть поезд проследовал станции А и Б перегона без остановок. Выведем точную формулу для нахождения времени движения поезда на перегоне. Разобьем перегон на мелкие части точками

$$0 = s_0 \leq s_1 \leq s_2 \leq \dots \leq s_{n-1} \leq s_n = S.$$

Станции А, с которой начинается движение поезда, соответствует $s_0 = 0$, а станции В – $s_n = S$. Выберем на каждой из частей перегона точку σ_i , где $s_{i-1} \leq \sigma_i \leq s_i$. Если эти части достаточно малы, то на данной части перегона скорость поезда можно считать практически постоянной, а время, потраченное поездом на её прохождение, можно приближённо найти из такого соотношения

$$t = s/V. \quad (1)$$

Обозначим через

$$\Delta s_i = s_i - s_{i-1}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n,$$

а через

$$\Delta t_i = t(s_i) - t(s_{i-1}); i = 1, 2, 3, \dots, n.$$

Тогда из формулы (1) получаем:

$$\Delta t_i = \frac{\Delta s_i}{V(\sigma_i)}; i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (2)$$

Для вычисления приближённого значения затраченного поездом времени T просуммируем полученные выражения (2)

$$T \approx \sum_{i=1}^n \Delta t_i = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta s_i}{V(\sigma_i)}. \quad (3)$$

Отметим, что увеличивая число точек разбиения перегона $[0; s]$ и устремляя при этом длину наибольшего из частей перегона Δs_i к нулю, мы получаем всё более точные значения времени, затраченного поездом на прохождение перегона s . Переходя в формуле (3) к пределу, найдём точное значение пройденного пути s , выраженное через интеграл

$$T = \int_0^s \frac{d\sigma}{V(\sigma)} = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta s_i}{V(\sigma_i)}. \quad (4)$$

Формула (4) позволяет найти время движения поезда по перегону АВ точно. Именно в нахождении хорошего метода вычисления приближенного значения данного интеграла при известной функции $V(s)$ и заключается решение сформулированной выше задачи.

Таким образом, для вычисления времени движения поезда по перегону в случае, когда поезд проходит начальный и конечный пункт без остановки и известно точное значение скорости, то формула (4) даст точный ответ. Однако задать точное аналитическое выражение функции $V = V(s)$ не представляется возможным, поэтому для оценки интеграла можно применить квадратурные формулы.

Если поезд проследовал начальную и конечную станции перегона без остановок и не имел стоянок на перегоне, то интеграл (4) является интегралом от непрерывной функции, а потому может быть приближенно вычислен с помощью квадратурных формул:

– трапеции

$$T = \int_0^s \frac{ds}{V(s)} \approx \frac{s}{2n} \left[\frac{1}{V(0)} + \frac{2}{V(1)} + \frac{2}{V(2)} + \dots + \frac{2}{V(n-1)} + \frac{2}{V(n)} \right]; \quad (5)$$

– Симпсона

$$T = \int_0^s \frac{ds}{V(s)} \approx \frac{s}{6k} \left[\frac{1}{V(0)} + \frac{4}{V(1)} + \frac{2}{V(2)} + \frac{4}{V(3)} + \dots + \frac{2}{V(2k-2)} + \frac{4}{V(2k-1)} + \frac{1}{V(2k)} \right]. \quad (6)$$

Чтобы использовать эти формулы, перегон нужно разбить на n равных промежутков для вычисления по формуле трапеций или на четное количество равных промежутков $2k$, если вычисление ведется по формуле Симпсона, найти скорости $V(i)$, $i = 1, 2, \dots, n$ или $i = 1, 2, \dots, 2k$ на концах этих промежутков. Нулевой узел находится на начальной станции перегона, n или $2k$ узел – на конечной станции. S -длина перегона, n или $2k$ количество промежутков разбиения перегона.

Авторы исследовали возможность применения данных формул для вычисления времени хода трех грузовых поездов различной массы на перегоне Малый Остров-Шаблыкино Свердловской железной дороги. Указанный перегон характеризуется наличием затяжных подъемов крутизной 6-8 тысячных общей протяженностью 12 км.

При движении грузовых поездов массой 6000 т по данным перегонам для выполнения графика движения (перегонного времени хода) электровоз ВЛ10 реализует предельные тяговые усилия при токах якоря тягового электродвигателя 600-650 А, что сопровождается увеличенным износом бандажей колесных пар локомотива со значительной вероятностью отказа электровоза в целом и затребованием вспомогательного локомотива.

Для вычисления использовано четное количество промежутков разбиения перегона на участки длиной в 500 м. По скоростемерным лентам электровозов были найдены скорости (в км\ч) движения данных поездов на каждом из концов промежутков разбиения (узлов). Эти скорости в узлах были сведены в таблицу, а затем переведены (в м\с), после чего были найдены величины, обратные к скоростям. Подставив полученные величины в формулы Симпсона (6) и трапеций (5), получили приближенное время движения поезда в секундах, а затем перевели время в минуты.

Сравнение полученных результатов с реальным временем следования поездов по перегону Малый Остров-Шаблыкино, взятым по результатам расшифровки скоростемерных лент, приведено в таблице.

Из таблицы следует, что полученные с помощью квадратурных формул времена с точностью до моментов фиксации совпадают или близки к фактическому времени хода. Небольшие расхождения для 2-го и 3-го поездов можно объяснить неточностями фиксации моментов прохождения поездами осей станций Малый Остров и Шаблыкино.

Предложенный метод отличается от классического удобством и быстротой вычислений, возможностью использования табличного процессора Excel, достаточной точностью и возможностью оперативного моделирования ограничений скорости на различных участках перегона.

Таблица – Время хода грузовых поездов на перегоне Малый Остров-Шаблыкино, мин.

Масса поезда, т	По скоростемерной ленте	По формуле трапеций	По формуле Симпсона
1643	9	8,92	8,91
4266	11	11,77	11,77
6107	13	13,68	13,68

Расчет перегонного времени хода грузовых поездов по предлагаемой методике позволит сформулировать предложения по корректировке как графиков движения (перегонного времени хода), так и режимных карт вождения поездов, что приведет к снижению количества отказов электровозов при следовании с поездами массой 6000 т на перегонах Ишим-Малый Остров и Малый Остров-Шаблыкино.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Осипов, С.И. Основы тяги поездов / С.И. Осипов, С.С. Осипов. -М.: УМК МПС России, 2000. -593 с.

2 Фихтенгольц, Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т.2 / Г.М. Фихтенгольц. -М.: Наука, 1969. -800 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА поезд, время хода по перегону, квадратурные формулы, пример расчета

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Исмаилов Шафигула Калимуллович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

Гателюк Олег Владимирович, канд. физ.-мат. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

Талызин Александр Сергеевич, ст. преподаватель ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

Селиванов Евгений Иванович, директор ТИЖТ, филиал ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

Есин Николай Васильевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

652401, Кемеровская область, г. Тайга, ул. Молодежная, 13, ТИЖТ, филиал ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ И РАБОТЫ ФЛОТА НА МАЛЫЕ РЕКИ В НОВЫХ УСЛОВИЯХ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.В. Зачёсов, И.С. Дерябина

SUBSTANTIATION OF THE SCHEME OF TRANSPORTATIONS OF CARGOES AND FLEET WORK ON THE SMALL RIVERS IN NEW CONDITIONS OF MANAGING

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.V. Zachjsov, I.S. Derjabina

The technique of a substantiation of schemes of lines and optimum use of fleet at delivery of cargoes in points of the small rivers in the conditions of the market is considered.

Keywords: the small rivers, substantiation of schemes of delivery of cargoes, market parameters

Рассматривается методика обоснования схем линий и оптимального использования флота при заводе грузов в пункты малых рек в условиях рынка.

Возможные схемы завоза грузов в пункты малых рек в научной литературе определены и не зависят от формы хозяйствования [1].

Основные из них следующие:

1 Перевозка грузов из порта отправления в пункт назначения выполняется в малотон-

нажном флоте.

2 Завоз грузов из порта отправления в порт назначения крупнотоннажным магистральным флотом (с полной загрузкой, неполной загрузкой на всём пути следования).

3 Перевозка грузов в крупнотоннажных судах по магистрали с перевалкой в устьевом пункте или порту концентрации грузопотоков малой реки во флот меньшей грузоподъемности или выгрузкой на берег с последующим отправлением в судах, способных работать на малой реке.

4 Завоз грузов крупнотоннажным флотом с паузой в устьевом пункте или порту концентрации грузопотоков малой реки.

Возможно также частичное сочетание вариантов, если эта необходимость вызвана конкретными условиями.

Задача по обоснованию схемы перевозок и работы транспортного флота при завозе грузов на малые реки является комплексной, многовариантной, а следовательно и оптимизационной.

При административно-хозяйственной системе такая задача носила детерминированный характер, ставилась как задача линейного программирования и решалась одним из методов математического программирования (распределённым или симплексным).

В условиях отсутствия неопределённости и коммерческого риска даже в рыночной экономике такую задачу можно описать следующей экономико-математической моделью, сущность которой сводится к обеспечению заданного количества перевозок при минимальных интегральных затратах в целом по схеме перевозок с учётом наличных ресурсов транспортных средств, технологического фактора доставки грузов (пропускная способность пунктов концентрации грузопотоков, водного пути, времени работ малой реки и др.).

Ограничения задачи:

– по грузообороту

$$\sum_{rs} \Pi_{jrs}^K X_{jrs}^K + \sum_{rs} \Pi_{jrs}^M X_{jrs}^M = A_j;$$

– по потребности во флоте

$$X_{jrs}^K \leq \begin{cases} \Phi^K & \text{для всех схем кроме 1;} \\ 0 & \text{для схемы 1} \end{cases}; \quad X_{jrs}^M \leq \begin{cases} \Phi^M & \text{для всех схем кроме 2;} \\ 0 & \text{для схемы 2} \end{cases};$$

– по пропускной способности перевалочного пункта (пункта концентрации грузопотоков)

$$\sum_{js} Q_{jrs}^K X_{jrs}^K \leq \gamma R_K;$$

– по пропускной способности пути

$$\sum_{rs} \frac{\ell}{t_{jrs}} X_{jrs} \leq M_j;$$

– по времени работы флота на малой реке

$$\sum_{rs} \alpha_{jrs} X_{jrs} \leq t_j; \quad X_{jrs} \geq 0.$$

Целевая функция задачи

$$\sum_{jrs} Z_{jrs}^K X_{jrs}^K + \sum_{jrs} Z_{jrs}^M X_{jrs}^M = \min,$$

где j, r, s – соответственно признаки направления перевозки линии, схемы завоза и типа флота;

Π – провозная способность по вариантам доставки и типам флота, ткм

Z – интегральные издержки по вариантам доставки и типам флота, руб.;

Φ^K, Φ^M – соответственно наличное количество крупнотоннажного и малотоннажного флота, ед.;

Q – эксплуатационная загрузка судов, т;

R, M – пропускная способность пунктов перевалки и водного пути, т;

t – период работы флота на малой реке, суток;

α – удельные затраты времени, суток/ед.;

X – потребное количество флота, ед.

Задача решается симплексным методом линейного программирования.

Особенности этой модели состоят в следующем:

– весь запланированный грузопоток в пункты малых рек может осваиваться одновременно малотоннажным и крупнотоннажным флотом;

– малотоннажный флот обеспечивает перевозку грузов из пунктов концентрации, который накапливается в результате выгрузки его из крупнотоннажных судов, (включая прямую перевалку) или их паузки;

– крупнотоннажный флот может заходить на малые реки с неполной загрузкой в соответствии с Правилами плавания.

Переход от административно-плановой системы хозяйствования к рыночным отношениям неизбежно приводит к необходимости при решении вопросов управления деятельностью хозяйствующих субъектов учитывать такие рыночные параметры, как конкуренция, коммерческий риск и неопределённость.

Конкуренция при завозе грузов на малые реки Сибири имеет свои особенности и проявляется в двух направлениях:

- конкуренция между различными видами транспорта;
- конкуренция между судоходными компаниями.

Первый вид конкуренции характерен для южных районов, где имеется, хотя и незначительная, сеть железнодорожных и автомобильных дорог.

Второй вид конкуренции имеет место в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностей, которые занимают 4/5 территории Сибири и не имеют транспортных связей для перевозки массовых грузов, кроме водных путей. Однако и в этих районах доминирующая роль при завозе грузов в пункты малых рек принадлежит крупным судоходным компаниям.

Необходимость учёта коммерческих рисков при решении эксплуатационно-экономических задач обусловлена рядом факторов, которые оказывают отрицательное влияние на ритмичную работу флота.

Основные из них следующие:

– высокий уровень износа основных фондов судоходных компаний. В результате – выход из строя флота и перегрузочной техники в течение навигации, сверхплановые простои флота в пути и в перегрузочных пунктах;

– необустроенность судового хода, отсутствие необходимых глубин, изменение габаритов судового хода, нарушение судоходной обстановки. В результате возможен отказ грузовладельцу в перевозке грузов, сокращение количества перевозок относительно плановых величин, досрочное закрытие навигации;

– неплатёжеспособность некоторой части грузоотправителей, непредъявление грузов к перевозке.

В современных условиях отмечается два направления установления уровня риска в организации перевозок грузов.

1 На основании экспертных оценок специалистов с учётом компетентности экспертов, которые устанавливаются по каждому из вариантов перевозок.

2 Расчётным путём, когда судоходная компания имеет статистические данные о нарушениях ритмичной работы флота и определяет риск как вероятность наступления события

$$r = p(A),$$

где r – уровень риска;

$p(A)$ – вероятность наступления события A ,

$$p(A) = \frac{m}{n};$$

n – общее число случаев;

m – число случаев, благоприятствующих событию A .

В этом случае критерий оценки рассматриваемого варианта определяется исходя из следующей зависимости

$$I_i = C_i \sum r_i = \sum R_i,$$

где C_i – совокупные затраты по i -му варианту маршрута;

$\sum r_i$ – суммарные риски по i -му варианту в зависимости от учтённых факторов, влияющих на работу флота.

R_i – величина потерь, которые несёт судоходная компания в зависимости от совокупности рисков.

Неопределённость в перевозках грузов учитывается путём проведения расчётов по нескольким вариантам использования флота для различного количества перевозок. Рекомендуется рассматривать не менее трёх вариантов: пессимистический, базовый и оптимистиче-

ский. При этом за базовый вариант принимается как правило, вариант характеризующий показатели перевозок на уровне прошедшей навигации, или средний за несколько прошедших лет. Пессимистический – на 15-20% меньше базового и оптимистический – на 15-20% лучше базового.

Результаты расчётов дают возможность ориентироваться в принятии управленческих решений в соответствии с возникающей конкретной ситуацией в реальном масштабе времени и в оперативной обстановке. В этом случае, несложно, путём интерполяции получить объективное решение.

С учётом рыночных параметров экономико-математическая модель поставленной задачи формулируется как стохастическая и общий вид этой модели записывается следующим образом:

$$F = M \left[\sum_i \sum_j (\Theta_{ij} + R_{ij}) X_{ij} \right] = \min ,$$

с ограничениями

$$\sum_j \bar{a}_{ij} \bar{x}_{ij} \leq \bar{b}_{ij} .$$

где $\bar{a}_{ij}, \bar{b}_{ij}$ – математическое ожидание соответствующих случайных величин;

M – символ математического ожидания;

Θ_{ij} – общие издержки на доставки грузов, руб.;

X_{ij} – потребность во флоте, ед.

К наиболее распространённым рисковым потерям при перевозке грузов по малым рекам относятся:

- сокращение количества перевозок грузов относительно плановых величин;
- сверхплановые простои флота в пути и в перегрузочных пунктах;
- изменение габаритов судового хода;
- формы организации движения и обработки флота;
- неплатёжеспособность некоторой части грузоотправителей;
- отказ грузовладельцу в перевозке грузов из-за необустроенности судового хода, отсутствие необходимых глубин и др.;
- досрочное закрытие навигации.

Недоиспользование запланированного количества флота из-за непредъявления грузов к перевозке приводит к потерям прибыли судоходной компании.

$$\Pi = D - (\Theta + c \cdot \Delta \Phi) ,$$

где Π – прибыль судоходной компании от перевозок, руб.;

D – доходы от запланированных перевозок, руб.;

Θ – эксплуатационные расходы по флоту, выделенному для освоения плана перевозок исходя из плановых нормативов элементов технологического процесса, руб.;

c – стоимость содержания единицы флота, руб.;

$c \cdot \Delta \Phi$ – суммарные дополнительные расходы судоходной компании, руб.

Если судоходная компания по какой-либо причине не может выделить флот, необходимый для нейтрализации дополнительных простоев, то общее количество перевозок, против запланированных, сокращается на величину ΔG

$$\Delta G = \frac{\Phi Q_3 t_3}{t_{кр}} - \frac{\Phi Q_3 t_3}{t_{кр} + \Delta t} = \Phi Q_3 t_3 \left(\frac{\ell}{t_{кр}} - \frac{\ell}{t_{кр} + \Delta t} \right) .$$

Невыполнение ранее принятых на себя договорных обязательств приводит к недополучению доходов судоходной компании и возможных штрафных санкций

$$\Delta D = \sum_i \Delta G_i d_i + \sum_i \Pi_i ,$$

где ΔD – потери дохода, связанные с невыполнением договорных обязательств по грузу, принятому к перевозке, руб.;

i – индекс рода груза;

d_i – тарифная ставка, руб./т;

Π_i – штраф, пени по договору на перевозку i -го рода груза, руб.

Аналогичная ситуация в судоходной компании создаётся при отказе грузовладельцу в

перевозке грузов или сокращении периода навигации по причинам не зависящим от грузо-владельца.

В этом случае у последнего появляются дополнительные затраты, связанные с принятием с его стороны решением воспользоваться другим видом транспорта или хранить груз на складе до следующей навигации

$$\Delta D_{\text{в}} = \sum_i G_i \Delta d_i + \sum_i G_i C_i \frac{\Delta t_{\text{в}i} + t_{\text{хр}i}}{365};$$

$$\Delta D_{\text{а}} = \sum_j G_j \Delta d_j + \sum_j G_j C_j \frac{\Delta t_{\text{в}j} + t_{\text{хр}j}}{365},$$

где $\Delta D_{\text{в}}, \Delta D_{\text{а}}$ – потери грузовладельца соответственно при отказе перевозки водным транспортом и использовании альтернативного транспорта, руб.;

$\Delta d_i, \Delta d_j$ – тариф при перевозке водным (i) или альтернативным (j) видами транспорта, руб./т;

C_i, C_j – оптовая цена груза на соответствующих видах транспорта, руб./т;

$\Delta t_{\text{в}i}, \Delta t_{\text{в}j}$ – изменение срока доставки груза при перевозке альтернативным видом транспорта, сут.;

$t_{\text{хр}i}, t_{\text{хр}j}$ – продолжительность хранения груза в случае ожидания грузовладельцем начала следующей навигации, суток;

365 – количество календарных дней в году, суток.

Аналогично, принятые формы организации движения и обработки флота также несут в себе потенциальные возможности дополнительных простоев судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Зачёсов, В.П. Малые реки Сибири / В.П. Зачёсов, М.В. Малюшин. -Новосибирск: Сиб. соглашение, 2004. -384 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА *малые реки, обоснование схем завоза грузов, рыночные параметры*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Зачёсов Александр Венедиктович, канд. техн. наук, помощник проректора ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

Дерябина Ирина Сергеевна, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

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

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ЛИЗИНГОВОЙ КОМПАНИИ С ГОСУДАРСТВЕННЫМ УЧАСТИЕМ ДЛЯ ОБНОВЛЕНИЯ РЕЧНОГО ФЛОТА СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.О. Самбур

EXPEDIENCY OF CREATION OF THE SPECIALISED LEASING COMPANY WITH THE STATE PARTICIPATION FOR RENOVATION OF RIVER FLEET OF SIBERIA AND THE FAR EAST

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.O. Sambur

In this article are stated the basic problems of domestic navigable companies in modern market conditions, and are offers ways of decisions.

Keywords: navigable companies, river fleet, leasing company, renovation of fleet

Изложены основные проблемы, стоящие перед отечественными судоходными компаниями в современных рыночных условиях, и предложены варианты их решений.

Прежде чем приступить к рассмотрению вопроса о необходимости обновления речного транспортного флота России, хотелось бы отметить, что для нашей страны данный вид транспорта всегда являлся стратегическим с точки зрения освоения обширных территорий Сибири и Дальнего Востока. Следует учитывать, что благодаря наличию естественных водных путей только речной транспорт способен доставлять грузы и пассажиров до мест, где

никогда не существовало других равноценных средств сообщения.

Сложности в развитии материально-технической базы речного транспорта связаны с тем, что потенциальные инвесторы никогда не рассматривали речной транспорт Сибири и Дальнего Востока как объект для инвестиций, потому что при наличии альтернативных вариантов размещения ресурсов, речной транспорт не позволяет получить высокого дохода на вложенный капитал. Вкладывая финансовые средства в речное хозяйство, для судоходных компаний приходится строить индивидуальные графики платежей, учитывающие сезонный характер работы речного флота. Взамен инвестор получает в залог неликвидное имущество (судно), которое, как правило, приобретается для работы только в определенном речном бассейне либо иное основное средство из портовой инфраструктуры. Переломить данную ситуацию возможно только изменением отношения государства к «непривлекательным отраслям» экономики, в корне изменив политику размещения государственных средств, путем их возврата из иностранных государственных ценных бумаг и фондов на внутренний рынок страны.

В последнее десятилетие российская экономика постепенно начала выбираться из экономической пропасти, в которой оказалась после распада СССР, когда социалистическая экономика в одночасье перестала существовать как единой хозяйством, и практически все имущество стало частным. Итоги приватизации неутешительны: появились сотни мелких доходных компаний и групп, не способных содержать и обновлять имеющийся на балансе флот, использующийся преимущественно для единичных заказов. К тому же учитывая, что перевозка грузов по реке на короткие расстояния с частичным использованием грузоподъемности судна, как правило, не рентабельна, а осуществлять формирование заказов, складирование, логистику могут позволить только крупные судоходные компании, большинство мелких и средних перевозчиков вынуждено было выживать, не заботясь об инвестициях в подвижной состав. Это в свою очередь сказалось на технико-экономических показателях использования флота и на формировании стоимости услуг по перевозке грузов. В результате объемы транспортных услуг резко сократились. Как следствие – отсутствие денег в отрасли, невозможность обновления физически и морально устаревшего флота. Нынешнее состояние речной отрасли пугающее, но попробуем разобраться, какие меры могут помочь в восстановлении речного флота Сибири и Дальнего Востока, посредством которого планируется осуществлять дальнейшее освоение природных богатств данного региона, а также поддерживать нормальное транспортное сообщение между отдаленными районами региона. Решение вышеуказанных проблем необходимо искать в финансовой поддержке государства, а именно в сфере вложения и применения государственных финансовых средств.

Высокие цены на мировом энергетическом рынке позволили России в XXI веке продемонстрировать достаточно уверенный экономический рост, который был прерван наступлением мирового финансово-экономического кризиса, парализовавшего преимущественно экономически развитые капиталистические державы. Государство поддержало российскую банковскую систему, надеясь на некоторую активизацию кредитования отечественных производственных компаний. Ожидаемого эффекта не последовало и большинство российских промышленных предприятий из-за недоступности внутренних источников финансирования по-прежнему вынуждены обращаться к зарубежным инвесторам.

За период с апреля 2009 года по апрель 2010 года ставка рефинансирования ЦБ РФ снижалась 12 раз. По состоянию на 29 марта 2010 г. ставка ЦБ РФ составила 8,25% [8]. Снижение учетной ставки Банком России явилось ответной мерой на острую нехватку средств в экономике, а именно в производственном и потребительском секторах. Несмотря на выделенные Правительством РФ 950 млрд. руб. Сбербанку, ВТБ, Россельхозбанку и прочим банкам на капитализацию российского банковского сообщества в разгар кризиса, данные средства так и не дошли до конечного получателя – промышленных предприятий и потенциальных покупателей отечественной продукции [9]. Этот факт дает повод задуматься, что выделять государственные средства необходимо под конкретные целевые проекты, такие как обновление основных производственных фондов предприятий, приобретение современных передовых технологий, в том числе и для речной отрасли. Причем основной целью государства должно являться восстановление производственной мощи отечественных предприятий, развитие инфраструктуры страны, и, как следствие, увеличение занятости населения, повышение уровня жизни граждан и налоговых поступлений в бюджеты всех уровней, что в наибольшей степени отвечает национальным интересам, а в конечном итоге обеспечит получение максимальной доходности от вложения средств.

В настоящее время судоходные компании не способны самостоятельно решить проблему с обновлением собственного подвижного состава по причине элементарного отсутствия доступа к источникам долгосрочного финансирования. Государство в свою очередь не готово субсидировать и оказывать финансовую поддержку судовладельцам при приобретении флота за рубежом, фактически поддерживая иностранных судостроителей. А отечественные судовой верфи не способны предложить судоходным компаниям интересующие их конструктивно новые современные суда, отвечающие требованиям Федерального закона РФ от 27.12.2007 года №184-ФЗ «О техническом регулировании», включенным в специальный технический регламент «О безопасности внутреннего водного транспорта и связанной с ним инфраструктуры» и обеспечить строительство судов в нужном объеме [3]. К примеру, с 2000 года по 2008 год на отечественных верфях было построено всего 15 единиц технического флота [5]. Вследствие этого за последние 10 лет из общего объема судов, заказанных российскими судовладельцами, флот российской постройки составляет около 6% [2]. Поэтому наряду с имеющимися типами судов необходимо немедленно заняться разработкой принципиально новых конструктивных моделей, отвечающих современным требованиям рынка речных грузоперевозок.

Правительством России создано ОАО «Государственная транспортная лизинговая компания» и выделено 10 млрд. руб. из государственного бюджета для внесения в её уставный капитал [1]. Предусматривается также возмещение части затрат по уплате процентов по кредитам и лизинговым платежам предприятий, в том числе и связанным с приобретением речных судов, но учитывая общетранспортную направленность вновь учреждаемой лизинговой компании – этого пока недостаточно.

На прошедшем 15 июля 2008 г. в Ростове-на-Дону совещании под председательством премьер-министра В.В. Путина была дана всесторонняя оценка перспектив развития гражданского судостроения и состояния внутренних водных путей. В совещании приняли участие представители Ассоциации судовладельцев, Минтранса, Федерального агентства морского и речного транспорта, Минпромторга и др. Данное совещание показало, что власть четко осознает все трудности в речном хозяйстве страны и готова рассматривать варианты по поддержке отрасли. Специально созданному департаменту Минпромторга России, курирующему вопросы гражданского судостроения, совместно с ОАО «Объединенная судостроительная корпорация» было поручено разработать концептуально новые проекты судов и технических средств для внутренних водных путей. После совместного обсуждения с крупными (региональными) судовладельцами, в том числе и Сибирского региона, было выбрано 5-7 проектов судов, отвечающих требованиям эксплуатационных характеристик речных путей регионов, на которые будет сделан акцент при строительстве нового флота. К примеру, для реки Лена был предложен проект мелкосидящего судна «Ленамакс», использование которого может избавить от необходимости выполнения дноуглубительных работ на определенных участках реки. Расходы на проектирование и строительство данных «опытных» образцов финансируются из федеральных средств, выделенных для ОАО «Объединенная судостроительная корпорация» [4].

По словам Президента Ассоциации портов и судовладельцев речного транспорта Александра Зайцева: «В 1990 году речными судами было перевезено 582 млн. т грузов и 96 млн. пассажиров. В 2008 году – 151 млн. т грузов и около 20 млн. пассажиров. Еще факт: в те годы в России речным транспортом перевозилось 4% всех грузов, сегодня – 2,5% и это при том, что в Сибири, в северных районах речной – практически единственный вид транспорта (и при этом самый экономичный)» [6]. Если разработанные совместно с судовладельцами «опытные» образцы судов смогут стать универсальными для использования на любых реках, это позволит запустить данные суда в серийное производство, что значительно снизит стоимость их постройки. Строительство современных речных судов, отвечающих требованиям грузоотправителей и потребностям судовладельцев (оптимальная грузоподъемность, автоматизация, осадка судна и прочие), и доступность источников долгосрочного финансирования (десять и более лет) даст импульс развитию всего речного хозяйства страны. Это позволит вернуть часть грузопотоков на речные маршруты и увеличить общий грузооборот.

Следующим шагом должно стать решение проблемы доступности источников инвестирования в обновление подвижного состава. Данным источником может выступить специализированной лизинговая компания, созданная на принципах государственно-частного партнерства, на первых порах с контрольным пакетом у государства.

Во-первых, государственно-частное партнерство позволит привлечь в речную отрасль

средства частных инвесторов. Государство как мажоритарный акционер будет выступать некой гарантией, защитой долгосрочных инвестиций.

Во-вторых, посредством специализированной лизинговой компании, созданной в рамках ОАО «Объединенная судостроительная корпорация» как целевого проекта для обновления речного флота, за счет исключения лишних посредников-кредиторов удастся снизить конечную стоимость лизингового имущества.

В-третьих, учитывая практически «монопольное» положение специализированной лизинговой компании на рынке лизинга речного флота в масштабах страны будет целесообразно создать единый реестр переданных в лизинг судов (банк данных), который в случае расторжения лизинговых договоров позволит мобильно реализовать изъятое имущество в любом регионе страны, значительно снижая риски по дефолтным сделкам.

В-четвертых, в рамках работы специализированной лизинговой компании возможно запустить ряд программ, стимулирующих судовладельцев к обновлению имеющегося подвижного состава через лизинг, аналогичных программе по утилизации старых автотранспортных средств.

В-пятых, учитывая, что балансодержателем передаваемого в лизинг имущества будет являться лизинговая компания, следует рассмотреть возможность предоставления льготной ставки по налогу на имущество либо освобождение от уплаты налога на имущество в течение первых 3-5 лет действия договора лизинга. Это позволит значительно снизить конечную стоимость судна для лизингополучателя.

В-шестых, возможно заключение долгосрочных договоров между лизинговой компанией и судостроительными, судоремонтными предприятиями, входящими в ОАО «Объединенная судостроительная корпорация», на предоставление комплекса технических услуг по обслуживанию переданных в лизинг судов отечественной постройки по минимально возможным расценкам (в качестве дополнительной услуги к договору лизинга).

В-седьмых, одним из наиболее важных плюсов станет построение индивидуальных графиков платежей по договорам лизинга с учетом сезонности навигации на реках и доходов от перевозок.

Кроме того, для решения вопроса по снижению стоимости судов для судоходных компаний, следует предоставить налоговые льготы компаниям, задействованным на основных стадиях производственного процесса судна – поставщикам компонентов, судостроительным предприятиям и т.д. Например, снизить для судостроительных предприятий ставку земельного налога либо предусмотреть в земельном законодательстве применение понижающих коэффициентов при установлении кадастровой стоимости земельных участков, ограниченных в обороте, а также уменьшить ставку либо освободить от налога на имущество [7]. Данные меры возможно применить для судоходных компаний и портов, самостоятельно осуществляющих грузоперевозки, что предоставит возможность аккумулировать финансовые ресурсы для инвестирования в обновление собственного подвижного состава.

Из вышеизложенного следует, что создание лизинговой компании, специализирующейся на речных судах, безусловно даст положительный импульс развитию всей речной отрасли страны. Необходимость создания подобной лизинговой компании продиктована текущим критическим положением судоходных компаний, выживающих в основном только за счет государственных заказов по завозу грузов в районы Крайнего Севера и поддержки отдельных стратегически важных судоходных компаний. При этом большая часть судов, стоящих на балансе грузоперевозчиков, уже давно перешагнула за черту нормативного срока использования, который все время пересматривается в сторону увеличения. Несвоевременное решение вопроса по списанию, сдаче в утилизацию физически и морально устаревших судов, работающих только за счет капитального и аварийного ремонта, грозит обернуться тяжелыми последствиями для всех участников судоходства – массовыми авариями старых судов, человеческими жертвами и, учитывая недостаточный уровень финансирования работ по поддержанию судоходной обстановки на реках, не исключена вероятность остановки судоходства на отдельных участках рек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Об основных итогах социально-экономического развития транспортного комплекса в 2009 году и задачах на 2010 год и среднесрочную перспективу до 2012 года: информ.-аналит. обзор / М-во трансп. Рос. Федерации. -М., 2010. -196 с.

2 Не модернизация, а развитие и строительство транспортной системы // Реч. трансп. (XXI век). -2008. -№3. -С. 4-8.

3 Зайцев, А. АПСРТ в 2007-2008 годах (материалы к собранию в г. Красноярске) / А. Зайцев, В. Сулаберидзе // Реч. трансп. (XXI век). -2008. -№3. -С. 36-43.

4 Овечкина, Г. Отрасль нашла поддержку у Правительства / Г. Овечкина, Н. Астафьев // Реч. трансп. (XXI век). -2008. -№5. -С. 30-33.

5 Расулев, Ш.А. Технический флот: каким ему быть? / Ш.А. Расулев, А.К. Татаренков, А.В. Трифонов // Реч. трансп. (XXI век). -2008. -№5. -С. 51-52.

6 Обережный, Л. Спасение утопающих дело рук... / Л. Обережный // Реч. трансп. (XXI век). -2009. -№1. -С. 22-26.

7 Самбур, А.О. Проблемы государственной поддержки развития речного транспорта на основе лизинга / А.О. Самбур // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№1. -С. 77-78.

8 Режим доступа: http://cbr.ru/print.asp?file=/statistics/credit_statistics/refinancing_rates.htm

9 Режим доступа: <http://www.meta.kz/71074-vlasti-rossii-pomogut-bankam-40-milliardami.html>

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА судоходные компании, речной флот, лизинговая компания, обновление флота

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Самбур Александр Олегович, аспирант ФГОУ ВПО «НГавт»

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

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И РЕМОНТА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВЛ10

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**

APPLICATION OF A METHOD OF IMITATING MODELLING FOR STUDYING OF ADVANCED SYSTEM OF DIAGNOSING AND REPAIR OF TRACTION ELECTRIC MOTORS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES VL10

«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 theoretical substantiation of application of a method of imitating modeling of system of diagnosing and repair traction electric motors is resulted and the description of the specified method is given. The minimum number of tests and limiting number of supervision is defined.

Keywords: electric locomotive, the traction electric motor, diagnostics, repair cycle, imitating modeling

Приведено теоретическое обоснование применения метода имитационного моделирования системы диагностирования и ремонта тяговых электродвигателей и дано описание указанного метода. Определено минимальное число испытаний и предельное число наблюдений.

В работе [1] с использованием статистических и экспериментальных методов оценки качества коммутации тяговых электродвигателей (ТЭД) электровозов ВЛ10 обоснована необходимость внедрения усовершенствованной системы их диагностирования и ремонта. В этой монографии отмечена неидентичность коммутационных циклов в электрических машинах постоянного и пульсирующего тока, выявлен также тот факт, что ТЭД электровоза находятся в неравных условиях эксплуатации, а также обоснована необходимость индивидуального подхода к каждому из них с учетом конкретных условий эксплуатации.

Поддержание ТЭД в работоспособном состоянии и обеспечение надежной и безопасной их эксплуатации выполняется по системе технического обслуживания и ремонта ЭПС.

Ремонт ЭПС осуществляется тремя методами:

- система ремонта по техническому состоянию;
- система планово-предупредительного ремонта;
- система планово-предупредительного ремонта с применением средств диагностики.

Содержание ТЭД ЭПС характеризуется системой планово-предупредительного ремонта регламентируемого правилами КР, СР и ТР единых для всех типов ТЭД. Ремонтный цикл электрических машин тот же, что и для ЭПС. Пробеги между ремонтами и время простоя на них регламентируется по сети дорог ОАО «РЖД» Распоряжением №3Р от 2005 г., а для каждого эксплуатационного предприятия приказом Начальника Дороги, например, приказ №110Н – для Зап.-Сиб. железной дороги – филиала ОАО «РЖД».

В таблице приведены нормы периодичности технического обслуживания и ремонта электровозов согласно Распоряжения №3Р Департамента локомотивного хозяйства ОАО «РЖД».

В ремонтный цикл ТЭД, согласно их Правил ремонта, входят: осмотры, ревизии, текущие, средние и капитальный ремонты. Ремонтный цикл на примере грузового электровоза серии ВЛ10 и его ТЭД представлен на рисунке.

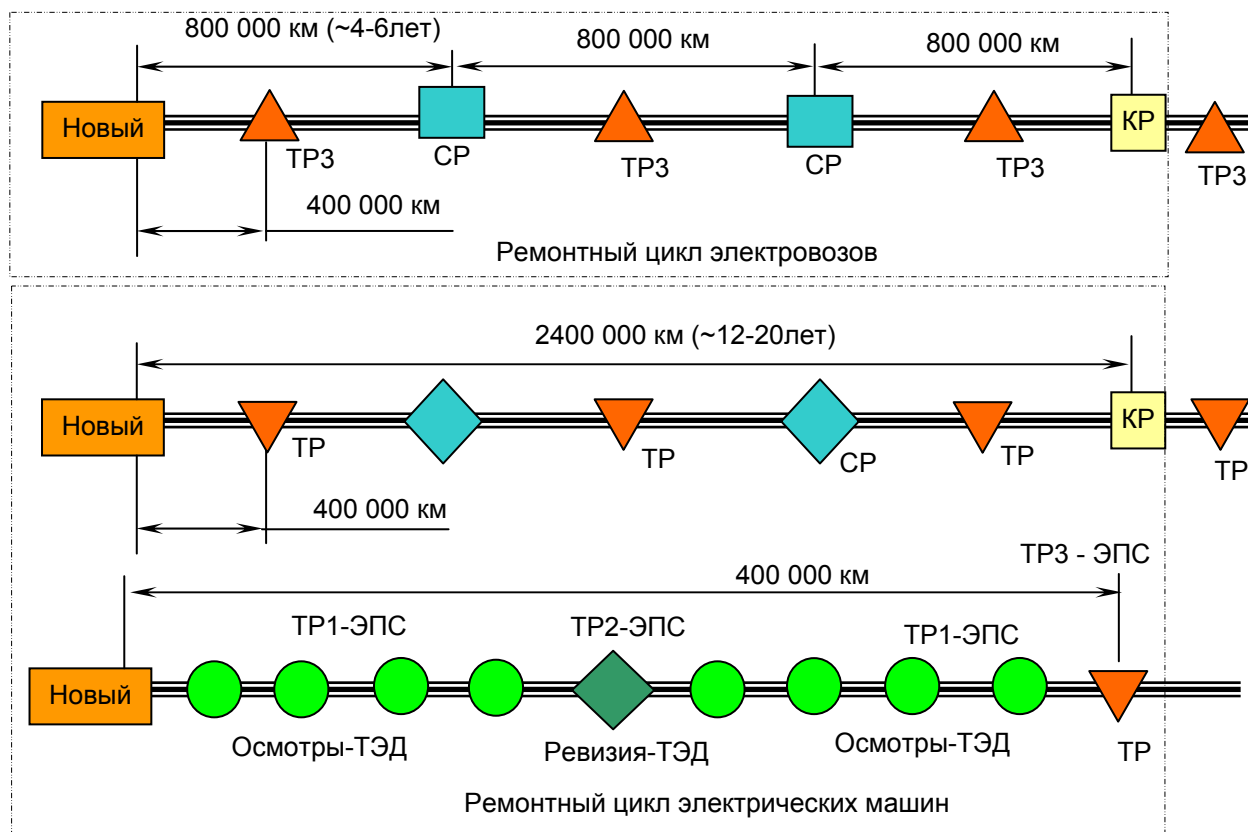


Рисунок – Ремонтный цикл электровозов и электрических машин

В процессе эксплуатации ЭПС ТЭД из-за различных неисправностей на неплановых ремонтах заменяются заранее отремонтированными, и в связи с этим их ремонтный цикл сбивается. Они могут эксплуатироваться с длительными перепробегами между текущими ремонтами (ТР, СР и КР), в зависимости от пробега ЭПС, на котором установлены, так как теперь все виды ремонтов этих ТЭД будут строго совмещаться с ремонтным циклом их «нового» электровоза. В публикациях авторов изучена традиционная система ремонта ТЭД электровозов как с точки зрения методов сетевого планирования и управления (СПУ), так и с точки зрения теории систем массового обслуживания (СМО).

Нормы периодичности технического обслуживания и ремонта электровозов (серии ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80 всех индексов, ВЛ15, ВЛ85):

- Техническое обслуживание (ТО-2), ч..... не более 120;
- Текущие ремонты:
- ТР-1, тыс. км..... 25;
- ТР-2, тыс. км..... 200;
- ТР-3, тыс. км..... 400;

- Средний ремонт СР, тыс. км..... 800;
- Капитальный ремонт КР, тыс. км..... 2400.

В этих работах на основании вышеприведенных методов также обоснована необходимость усовершенствования системы диагностирования и ремонта магнитной системы ДП ТЭД. Было показано в работе [2], во-первых, что критический путь сетевого графика технологического процесса ее ремонта составляет около 27 ч, что представляет собой довольно большую цифру. Во-вторых, из-за того, что примерно 15-20% отремонтированных ТЭД не удовлетворяет по условиям качества коммутации, а потому их приходится возвращать на повторный цикл ремонта, традиционная система ремонта ТЭД как СМО работает на пределе своей устойчивости.

В работе [1] была предложена новая система диагностирования и ремонта ТЭД.

Аналогичная система предлагается для ремонта вспомогательных электрических машин (ВЭМ) электровоза.

Однако проведение анализа данной системы с точки зрения СМО и нахождения его числовых характеристик затруднено. Это связано, во-первых, с тем, что новая система ремонта достаточно сложная и многоступенчатая, а во-вторых, распределение ТЭД по типам носит случайный характер, то есть заранее без предварительного диагностирования нельзя сказать, к какому типу относится поступивший на ремонт двигатель. Поэтому применить такие традиционные методы анализа процесса диагностирования и ремонта тяговых электрических машин (ТЭМ) (ТЭД и ВЭМ) как СМО не представляется возможным.

Для решения данной задачи предлагается воспользоваться методом имитационного моделирования. Моделируется случайная величина – время диагностирования и ремонта ТЭД. Процесс диагностирования и ремонта ТЭД разбивается на этапы, для которых можно оценить параметры распределения случайных величин – времени выполнения того или иного комплекса однотипных процедур. Как показали исследования [2], время ремонта магнитной системы ДП первой группы подчиняется нормальному распределению с математическим ожиданием $T_{cp} = 26,86$ ч и стандартным отклонением $\sigma = 0,415$. Для остальных групп ТЭД благодаря выдаче рекомендаций время ремонта значительно сокращается. Имея эти данные можно с помощью компьютера построить имитационную модель усовершенствованной системы диагностирования, ремонта и испытания ТЭД.

В имитационном моделировании на основании опытных данных определяются частоты появления ТЭД данной группы. Затем по частотам вычисляются доверительный интервал вероятности с надежностью γ для генеральной доли появления ТЭД этой группы

$$p \in \left(\hat{p} - t_{\gamma} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}; \hat{p} + t_{\gamma} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \right),$$

где $\hat{p}$ – частота появления ТЭД данной группы в выборке;

n – объем выборки, а t_{γ} находится из уравнения

$$2\Phi(t_{\gamma}) = \gamma; \quad \Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt,$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа.

Зная наблюдаемые частоты и их доверительные вероятности, можно найти между случайными числами, получаемыми с помощью генератора случайных чисел и значениями случайной величины – частоты появления ТЭД той или иной группы. Зная, что распределение случайной величины – времени, затрачиваемого на ремонт и испытание ТЭД различных типов, можно, используя генераторы случайных величин с нормальным распределением, численно промоделировать процесс диагностирования и ремонта ТЭД.

Точность статистических оценок параметров зависит от числа наблюдений (объема выборки). Очевидно, что с увеличением числа испытаний точность оценки параметров должна возрастать. Оценим минимальное число испытаний, необходимое для достижения заданной точности оценки. Изучение системы диагностирования и ремонта ТЭД электровозов ВЛ10 заключается в реализации независимых прогонов модели, то есть в кратном повторении одного и того же цикла имитирования.

Пусть значения t_k ($k = 1, 2, \dots, N$) представляют собой результаты последовательных измерений значений случайной величины T , например, времени ремонта магнитной системы

электровоза с помощью 1-го, 2-го, ..., N -го циклов имитационного моделирования. Среднее по времени значение случайной величины T определяется выражением

$$\bar{T} = \sum_{k=1}^N \frac{t_k}{N}.$$

Обозначим через τ математическое ожидание случайной величины T . В силу усиленного закона больших чисел Колмогорова [3], для достаточно большого N получаем приближенное равенство

$$\bar{T} \approx \tau.$$

Оценка для дисперсии $\bar{T}$ имеет вид

$$D(\bar{T}) = D(T)/N,$$

где $D(T)$ – дисперсия случайной величины T .

Оценим количество необходимых наблюдений, обеспечивающих приемлемое для практики качество результатов, полученных методом имитационного моделирования.

Поэтому имитационный эксперимент лучше всего провести в два этапа.

На первом этапе испытаний их число выбирается относительно небольшим, в результате чего можно найти оценку величины $D(t_x) = d$. После этого определяем, сколько дополнительных имитационных испытаний нужно провести, чтобы была достигнута требуемая точность.

Предельное число наблюдений N_0 определяем по следующей формуле

$$N_0 = d / [(1-p)\varepsilon^2].$$

При любом числе наблюдений больше N_0 обеспечивается требуемая точность. Имитационное моделирование позволяет проверить ход процесса диагностирования и ремонта ТЭД по новой системе. Поскольку в данном случае ситуация слишком сложна для ее непосредственного математического описания, то имитационное моделирование позволяет провести ее без упрощений, которые авторы вынужденно делали при изучении существующей системы диагностирования и ремонта ТЭД. Проведение натурных испытаний процесса новой системы диагностирования и ремонта ТЭД связано с известным риском. Имитационное моделирование позволяет избежать этого риска и еще раз проверить выводы о тех преимуществах, которые дает предлагаемая система. Хотя имитационное моделирование показывает лишь приблизительное поведение модели при заданных условиях, однако в силу невозможности использовать прямые аналитические методы, имитационные методы позволяют получить достоверный результат. Поскольку в новой системе диагностирования и ремонта ТЭД на испытательную станцию ложится большая нагрузка, чем при традиционной системе, поэтому именно имитационное моделирование позволит ответить на основной вопрос: сможет ли испытательная станция справиться с большей нагрузкой или необходимо иметь дополнительный испытательный стенд.

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.

2 Применение метода ПЕРТ для математического моделирования ремонта тяговых электродвигателей и колесных пар электровозов ВЛ10 / Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, В.В. Бублик, Е.И. Селиванов, А.С. Талызин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№2. -С. 401-404.

3 Боровков, А.А. Теория вероятностей / А.А. Боровков. -М.: Наука, 1976. -432 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА электровоз, тяговый электродвигатель, диагностика, ремонтный цикл, имитационное моделирование

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Исмаилов Шафигула Калимуллович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Гателюк Олег Владимирович, канд. физ.-мат. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Бублик Владимир Васильевич, преподаватель ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Селиванов Евгений Иванович, директор ТИЖТ, филиал ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Мурзин Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Юрасов Дмитрий Вениаминович, мастер локомотивного ремонтного депо Москвака

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
652401, Кемеровская область, г. Тайга, ул. Молодежная, 13, ТИЖТ, филиал ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
644120, г. Омск, ст. Москвака, Локомотивное ремонтное депо Москвака

МЕТОД КРАТКОСРОЧНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ ГРУЗОВОГО ФЛОТА В УСЛОВИЯХ НЕРЕГУЛЯРНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

А.Ю. Платов, А.В. Хорошева

METHOD OF SHORT-TERM SCHEDULING OF A CARGO FLEET IN THE CONDITIONS OF AN IRREGULARITY OF TRANSPORT PROCESS

«Volga state academy of water transport»

A.Yu. Platov, A.V. Horosheva

In article the method of short-term planning based on imitating modeling, allowing to consider an irregularity of transport process is offered.

Keywords: short-term planning, irregularity, simulation

Предложен метод краткосрочного планирования, основанный на имитационном моделировании, позволяющий учесть нерегулярность транспортного процесса.

Современные экономические и эксплуатационные условия, в которых осуществляются речные грузовые перевозки, характеризуются в ряде случаев высокой степенью нерегулярности. Типичным примером является перевозка нефтепродуктов с перевалкой в морские танкеры (накопители), которые подаются под погрузку через неравные промежутки времени. При этом конкретный срок подачи каждого накопителя становится известен всего за несколько суток до прибытия последнего в пункт перевалки. Планирование работы флота в таких условиях требует использования особых методов краткосрочного планирования, существенно отличных от обычных методов декадного или суточного планирования.

Специфика краткосрочного планирования в условиях нерегулярности состоит в решении относительно независимых задач. С одной стороны, ставшее типичным закрепление флота (постоянное или временное) за данным грузовладельцем явным образом формирует самостоятельное рабочее ядро флота. С другой стороны, из-за неравномерных промежутков времени становится возможным моделировать транспортный процесс как совокупность независимых процессов со своими корреспонденцией перевозок и начальной дислокацией судов. Ограничение числа судов, фигурирующих при краткосрочном планировании, позволяет сократить размерность задачи и использовать иные, более адекватные методы построения календарного плана работы флота.

При современных экономических условиях возможности оптимизации плана работы флота за счёт назначения судов невелики из-за небольшого выбора вариантов. Значительные возможности оптимизации заложены в управлении временем ходовой операции. Как правило, управление ходовой операцией ограничивается техническим нормированием, которое осуществляется по методикам 60-х годов прошлого века. Между тем, как это показано в [1], за счёт управления временем ходовой операции затраты на топливо могут быть снижены в среднем на 14-16% без изменения провозной способности флота. Учитывая тот факт, что в настоящее время доля затрат на топливо в общих эксплуатационных расходах грузового флота превышает 60%, введение скоростей движения судов в состав параметров краткосрочного планирования представляется принципиально важным.

Из сказанного следует необходимость использования при краткосрочном планировании специального критерия эффективности работы флота, с помощью которого работа флота будет оцениваться с двух сторон: со стороны грузовладельца и со стороны судовладельца. Грузовладелец, как правило, заинтересован в как можно более скорейшем освоении объёмов перевозок, а судовладелец стремится к сокращению эксплуатационных расходов.

Наиболее адекватным способом моделирования работы флота в краткосрочном периоде является имитационное моделирование. Однако использованию имитационного моделирования препятствует то обстоятельство, что с помощью имитационных моделей затруднительно решать оптимизационные задачи. С одной стороны, динамический характер имитационной модели усложняет формализацию допустимого множества. С другой стороны, неаналитический характер зависимостей между параметрами перевозочного процесса, порождаемых имитацией, исключает применение эффективных методов направленного поиска. Для разрешения этих двух проблем предлагается следующее.

Перевозочный процесс в краткосрочном периоде может быть строго логически – по границам операций – разделён на этапы. При этом хронологически эти этапы разделены быть не могут. Поэтому необходима алгоритмическая структура, с помощью которой будет учтено влияние на транспортную систему работы флота на предыдущем этапе. Как будет показано ниже, в качестве такой структуры могут быть использованы списки временных окон, составляемые для каждого транспортного узла, в котором возникают системные эффекты – в пунктах погрузки, в накопителе, в шлюзах. Каждое такое окно определяет промежуток времени, в течение которого транспортный узел не может обслуживать приходящие суда. Проблема неаналитичности может быть решена через использование генетических алгоритмов. Эти алгоритмы представляют собой методы случайного поиска с адаптацией и позволяют легко учитывать как любые ограничения, так и любые свойства целевых функций.

Пусть имеется S судов (составов) нескольких типов, с помощью которых осуществляется перевозка из P пунктов погрузки в некоторый целевой пункт (накопитель). Требуется освоить заданный объём перевозок G за минимально возможное время и с минимальными затратами. При этом в качестве управляемых параметров перевозок выступают, во-первых, назначения судов в пункты погрузки и, во-вторых, время ходовой операции каждого судна.

Для формализации задачи будем считать, что в некоторый момент времени t_i необходимо определить оптимальное управление x_i

$$x_i = \text{Arg max}_{x_i \in X} w, \quad (1)$$

где X – допустимое множество для управления;

w – критерий эффективности работы флота.

Управление x_i будет представлять собой совокупность трёх матриц

$$x_i^{\text{def}} = \{ \{t_s\}, \{z_{sp}\}, \{\tau_{sp}\} \}, \quad (2)$$

где t_s – заданный момент окончания перевалки судна с номером s в накопитель;

$\{z_{sp}\}$ – матрица назначений, состоящая из нулей и единиц, в которой $z_{sp} = 1$ означает, что судно с номером s назначено для погрузки в пункт с номером p ;

τ_{sp} – суммарное (в прямом и обратном направлении) ходовое время на круговом рейсе судна s при назначении в пункт p .

Допустимое множество X определяется следующей совокупностью выражений:

$$z_{sp} \in \{0, 1\} \text{ и } \tau_{sp} \in \{\tau_{sp}^{\min}, \tau_{sp}^{\max}\},$$

где величины с индексами $\min$ и $\max$ означают минимальное и максимальное ходовое время судна соответственно, которые определяются по ограничительным характеристикам судового пропульсивного комплекса [2]. Для конкретных задач список ограничений может быть расширен.

Обозначим некоторое множество CP как совокупность управлений x_i для набора моментов времени t_i

$$CP^{\text{def}} = \{x_i, t_i\}, \quad (3)$$

Можно видеть, что искомым решением поставленной задачи является совокупность CP , причем её размер (мощность множества CP) также определяется в ходе решения. Будем называть эту совокупность краткосрочным календарным планом работы флота.

Процедура построения календарного плана представляет собой динамический, поэтапный процесс принятия решения. На каждом i -м этапе в процессе планирования последовательно (и необязательно периодически) в моменты времени t_i вырабатываются некоторые управления x_i . Число этапов определяется динамически – по условию выполнения заданного объёма перевозок G . Оптимизация плана проводится «локально» – отдельно для каждого этапа при решении задачи (1). Для решения задачи (1) используется следующая процедура.

Пусть известно некоторое управление x_i . Будем моделировать работу каждого пункта погрузки как многоканальную систему массового обслуживания с детерминированными временами входа и обслуживания каждой заявки и дисциплиной обслуживания «первый пришёл-первый вышел». Время входа определяется для каждого судна s , назначенного в пункт p (то есть при $z_{sp} = 1$) как

$$t_s^{ex} = t_s + t_s^{ob}.$$

Для такого моделирования строится несложная имитационная модель. С помощью этой имитационной модели определяется время ожидания каждого судна, а также время выхода t_s^{ex} каждого судна из пункта. При этом промежутки времени, в течение которых занят каждый канал пункта погрузки, запоминается в списке временных окон, и при последующем моделировании в рамках этого промежутка суда не могут быть назначены на обработку в соответствующем канале.

В итоге моделирования всех пунктов имеются моменты подхода всех судов к накопителю, вычисляемые как $t_s^{ex} + t_s^{pr}$. Эти моменты подхода являются исходными данными для моделирования работы накопителя, которое осуществляется с помощью аналогичной имитационной модели. В результате определяются моменты выхода каждого судна из накопителя (окончания перевалки). Момент последнего выхода принимается за окончание текущего этапа перевозочного процесса.

С помощью описанной процедуры определяются все параметры, необходимые для вычисления критерия эффективности w , то есть данная процедура представляет собой алгоритм вычисления целевой функции, зависящей от управления $w = f(x_i)$.

Данная функция является в-общем случае разрывной (первого рода) и многоэкстремальной, поэтому для поиска x_i , в котором функция f имеет максимум, разделим задачу максимизации на две: внутреннюю задачу назначений судов и внешнюю задачу оптимизации ходового времени

$$w_i^{\max} = \max_{\{\tau_{sp}\}} \max_{\{z_{sp}\}} f(x_i). \quad (4)$$

Внутренняя задача состоит в определении матрицы $\{z_{sp}\}$ при фиксированной матрице $\{\tau_{sp}\}$. Эта задача хорошо подходит для решения с помощью генетического алгоритма, хромосома которого будет представлять собой двоичный вектор размерности $S \times P$. Как известно [3], многоэкстремальный характер целевой функции не составляет препятствия для применения генетического алгоритма. Для случая малого числа судов и пунктов погрузки внутренняя задача может быть решена полным перебором. Число вариантов расстановки равно P^S , что при двух пунктах и десяти судах составляет всего $2^{10} = 1024$ вариантов.

Внешняя задача состоит в определении $\{\tau_{sp}\}$. Причём при каждом вычислении целевой функции внешней задачи решается внутренняя задача. Внешняя задача может быть решена методом случайного покоординатного поиска. Хотя данный метод не гарантирует нахождение глобального максимума, его несомненным достоинством в данном случае является способность максимизировать функции с разрывами первого рода [4].

Для построения критерия эффективности w воспользуемся принципом, предложенным в [5]. Для этого будем строить критерий w в виде совокупности двух критериев, имеющих одинаковые структуру и область значений (от 0 до 1), что обеспечивает формально корректную свёртку в единый безразмерный критерий.

Первый критерий, отвечающий требованию выполнения перевозок в минимальный срок, имеет вид

$$w_1 = \frac{\sum_s \sum_p t_{sp}^{\min}}{\sum_s \sum_p t_{sp}}, \quad (5)$$

где t_{sp} — время кругового рейса судна s при его назначении в пункт p ;

$t_{sp}^{\min}$ — минимально возможное время того же кругового рейса.

Данные параметры вычисляются по выражениям:

$$t_{sp} = \tau_{sp} + t_{sp}^{ap} + t_{sp}^{ecn} + t_{sp}^{ож}; \quad t_{sp}^{\min} = \tau_{sp}^{\min} + t_{sp}^{ap} + t_{sp}^{ecn}, \quad (6)$$

где t_{sp}^{ap} — время грузовых операций;

t_{sp}^{ecn} — время вспомогательных операций;

$t_{sp}^{ож}$ — время ожиданий.

Для построения второго критерия, «отвечающего» за экономичность перевозки, необходимо предварительное определение для каждого судна с номером s на круговом рейсе че-

рез пункт p технической скорости, обеспечивающей минимальные эксплуатационные расходы $\mathcal{E}_{sp}^{\min}$. Для этого решается специальная оптимизационная задача [5]. Тогда второй критерий можно определить как

$$w_2 = \frac{\sum_s \sum_p \mathcal{E}_{sp}^{\min}}{\sum_s \sum_p \mathcal{E}_{sp}}, \quad (7)$$

где $\mathcal{E}_{sp}$ – фактические эксплуатационные затраты судна s при назначении его в пункт p , руб.

Как $\mathcal{E}_{sp}^{\min}$, так и $\mathcal{E}_{sp}$ являются функциями $t_{sp}^{пр}$ и $t_{sp}^{об}$.

Объединяя критерии (5) и (7) в один с помощью обычной свёртки с весовыми коэффициентами λ_1 и λ_2 , получим выражение для общего критерия

$$w = \lambda_1 w_1 + \lambda_2 w_2 \text{ причём } \lambda_1^2 + \lambda_2^2 = 1.$$

В настоящий момент все основные, описанные выше алгоритмы, составляющие метод построения краткосрочного календарного плана, программно реализованы на языке C++ в системе Linux, что позволяет утверждать о принципиальной возможности внедрения данного метода в рамках непрерывной системы планирования [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Платов, А.Ю. Методы оперативного планирования работы речного грузового флота в современных условиях / А.Ю. Платов. -Н. Новгород: Волж. гос. акад. вод. трансп., 2009. - 155 с.

2 Платов, А.Ю. Метод расчёта расхода топлива и оптимального движения речных теплоходов / А.Ю. Платов // Наука и техника на реч. трансп / ЦБНТИ М-ва трансп. Рос. Федерации. -М., 2003. -Спец. вып. -С. 76.

3 Гладков, Л.А. Генетические алгоритмы / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. - М.: Физматлит, 2006. -320 с.

4 Измаилов, А.Ф. Численные методы оптимизации / А.Ф. Измаилов, М.В. Солодов. -М.: Физматлит, 2006. -304 с.

5 Платов, А.Ю. Система показателей работы флота для принятия решений на оперативном уровне / А.Ю. Платов // Реч. трансп. (XXI век). -2010. -№1. -С. 80-82.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: краткосрочное планирование, нерегулярность, имитационное моделирование

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Платов Александр Юрьевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

Хорошева Александра Викторовна, аспирант ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОГЛАСОВАНИЯ РАБОТЫ СУДОВ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕВАЛКИ ГРУЗОВ В УСТЬЕВЫХ ПОРТАХ

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

А.В. Хорошева

MODELLING OF THE COORDINATION OF A WORK OF THE COURTS IN THE CONDITIONS OF TRANSFER OF CARGOES IN MOUTH PORTS

«Volga state academy of water transport»

A.V. Horosheva

In article the economic-mathematical model of the coordination of work of river crafts and the store in the conditions of the tramp form of navigation is offered. The model concerns continuous planning of work of fleet.

Keywords: the coordination, transfer, continuous planning, the store, tramp navigation

Предложена экономико-математическая модель согласования работы речных судов и накопителя в условиях трамповой формы судоходства. Модель относится к непрерывному планированию работы флота.

Применительно к речному транспорту были разработаны методики непрерывного планирования при использовании флота на грузопотоках линейной формы судоходства [1]. В настоящее время, таких форм все меньше, чаще возникают спонтанные перевозки на несколько рейсов (трамповая форма судоходства). Для таких актуальных в настоящее время задач методики непрерывного планирования ранее не разрабатывались, поэтому должны дополняться методиками решения подобных задач. Одной из таких типовых задач является задача загрузки накопителя в устьевых портах. Так, например, большие экспортные грузопотоки нефтепродуктов идут в порт Санкт-Петербург и в порт Кавказ. Кроме того, подобная задача возникает при согласовании работы разных видов транспорта, например, терминал в Высоцке принимает нефтепродукты с железнодорожного транспорта для заполнения морского танкера при вывозе нефтепродуктов на экспорт. Аналогичные задачи возникают и для сухогрузов. Основная цель решения таких задач минимизация затрат грузовладельца на фрахтование и одновременно владельцев речных судов (или другого подвижного состава).

Нами предлагается экономико-математическая модель (ЭММ) краткосрочного планирования флота в условиях нерегулярности транспортного процесса для решения задачи на примере наполнения мазутом морского танкера в порту Санкт-Петербург. Суть задачи состоит в следующем: грузовладелец фрахтует морской танкер грузоподъемностью 25-100 тыс. т для вывоза нефтепродуктов с внутренних водных путей на условиях чартера, в котором оговаривается стакийное время и штрафные санкции, поэтому перед фрахтователем стоит задача – привлечь такие суда для наполнения накопителя, чтобы его затраты были минимальными; примерная дата прибытия морского танкера обговорена и уточняется в оперативных условиях.

На практике, подобные задачи решаются без оптимизации путем фрахтования речных судов на всю навигацию, при этом накопитель приходит периодически, но не равномерно. Существует несколько вариантов заполнения накопителя:

Во-первых, в устьевом пункте у грузовладельца может быть стационарный накопитель, в который в течение всей навигации отправляются суда, а затем от накопителя заполняется морской танкер. В такой постановке задача может быть решена существующими методами непрерывного планирования, либо с частичным применением предлагаемой ниже модели только в момент прибытия морского танкера. Это позволит сократить затраты на перевалку для грузовладельца.

Во-вторых, оперативный накопитель (в данном случае морской танкер) может заполняться напрямую речными судами. Для этого случая и предлагается ЭММ согласования работы речного флота и оперативного накопителя (в модели – накопитель). Как уже отмечалось ранее, в любом случае речные суда фрахтуются на всю навигацию и суда поименно закрепляются за грузопотоком, что резко снижает эффективность использования флота судоходных компаний. Нами предлагается отказаться от поименного закрепления судов за грузопотоками, в период отсутствия морского танкера, имеющийся флот может работать на других линиях, а при поступлении информации о подходе морского танкера, все возможные суда (подходящие по условиям плавания) должны направляться на заполнение накопителя. При этом, должны минимизироваться следующие расходы: на ожидание обработки речными судами; расходы по содержанию танкера при ожидании подхода речных судов; на зачистку речных судов (возникают при смене груза); на штрафные санкции (демередж) в случае превышения стакийного времени. Отбор судов осуществляется на основе следующей модели:

При описании ЭММ используются следующие обозначения:

- S – множество речных судов, которые могут быть назначены к накопителю, ед.;
- P – множество портов отправления груза для накопителя, ед.;
- D – множество пунктов дислокации, ед.;
- K – искомое множество груженых рейсов, ед.;
- L – искомое множество порожних рейсов, ед.;
- R – количество судов, одновременно обрабатываемых у накопителя, ед.Ф;
- s – номер судна, $s = \overline{1, S}$;
- p – номер порта отправления груза для накопителя, $p = \overline{1, P}$;
- d – номер пункта дислокации, $d = \overline{1, D}$;
- k – номер груженого рейса, $k = \overline{1, K}$;
- l – номер порожнего рейса, $l = \overline{1, L}$;

- r – номер разгрузочного места у накопителя, $r = \overline{1, R}$;
- X_{spk} – число отправлений s -го судна к накопителю из p -го порта погрузки в k -ом грузе-
женном рейсе, ед.;
- X_{spd} – число отправлений порожнего s -го судна в p -й порт погрузки из d -го пункта
дислокации, ед.;
- X_{spl} – число отправлений s -го судна от накопителя до p -го порта погрузки в l -ом по-
рожном рейсе, ед.;
- Q_{spk} – загрузка s -го судна в p -ом пункте в k -ом грузе-женном рейсе, т;
- $G_{нак}^{нак}$ – грузоподъемность накопителя, т;
- G_p – объем груза, предъявленного к перевозке в p -ом пункте для накопителя, т;
- G'_p – остаток груза, предъявленного к перевозке в p -ом пункте для накопителя, т;
- l_{spd} – расстояние порожнего пробега s -го судна до p -го пункта погрузки от d -го пунк-
та дислокации, км;
- $t_{ож}^{нак}$ – затраты времени накопителя на ожидание подхода судов на разгрузку, ч;
- $t_{то}^{нак}$ – затраты времени на технические операции при загрузке накопителя, ч;
- $t_{дем}^{нак}$ – затраты времени на загрузку накопителя сверх стальной нормы времени, ч;
- $t_{3г}^{нак}$ – затраты времени на загрузку накопителя, ч;
- t_{spd} – затраты времени s -го судна на ход порожнем до первого p -го пункта отправления
из d -го пункта дислокации, ч;
- $t_{зачистка}^{спк}$ – затраты времени s -го судна на зачистку в p -ом пункте отправления в k -ом
грузе-женном рейсе (учитывается только при смене рода груза), ч;
- $t_{ож}^{спк}$ – затраты времени s -го судна на ожидание загрузки в p -ом пункте в k -ом грузе-
женном рейсе, ч;
- $t_{то}^{спк}$ – затраты времени s -го судна на технические операции при загрузке в p -ом пунк-
те в k -ом грузе-женном рейсе, ч;
- $t_{за}^{спк}$ – затраты времени s -го судна на загрузку в p -ом пункте в k -ом грузе-женном рейсе,
ч;
- $t_{хз}^{спк}$ – затраты времени s -го судна на ход с грузом из p -го пункта отправления до на-
копителя в k -ом грузе-женном рейсе, ч;
- $t_{ож}^{srk}$ – затраты времени s -го судна на ожидание разгрузки у накопителя в k -ом грузе-
женном рейсе у r -го разгрузочного места у накопителя, ч;
- $t_{то}^{srk}$ – затраты времени s -го судна на технические операции при разгрузке в накопи-
тель у r -го разгрузочного места у накопителя в k -ом грузе-женном рейсе, ч;
- $t_{рза}^{srk}$ – затраты времени s -го судна на разгрузку у r -го разгрузочного места у накопи-
теля в k -ом грузе-женном рейсе, ч;
- t_{spl} – затраты времени s -го судна на ход порожнем от накопителя до p -го пункта от-
правления в l -ом порожнем рейсе, ч;
- $T_{нач}$ – момент поступления информации о моменте прибытия накопителя;
- $T_{приб}^{нак}$ – момент прибытия накопителя;
- $T_{гот}^{нак}$ – момент готовности накопителя к грузовой обработке;
- $T_{приб}^{spd}$ – момент прибытия s -го судна в p -ый пункт отправления из d -го пункта дислока-
ции;
- $T_{3г}^{спк}$ – момент начала загрузки s -го судна в p -ом пункте в k -ом грузе-женном рейсе;
- $T_{ок3г}^{спк}$ – момент окончания загрузки s -го судна в p -ом пункте в k -ом грузе-женном рейсе;
- $T_{нр3г}^{srk}$ – момент начала разгрузки s -го судна у r -го разгрузочного места у накопителя в
 k -ом грузе-женном рейсе;
- C_1^s – стоимость содержания s -го судна при ожидании грузовых работ, ден. ед./сут.;
- C_2 – стоимость содержания накопителя на стоянке, ден. ед./сут.;

C_3 – ставка демереджа, ден. ед./сут.;

C_4^{sp} – стоимость зачистки s -го судна в p -ом пункте, ден. ед./сут.

С учетом принятых обозначений требуется найти такой план освоения грузопотоков и использования флота $\{x_{spk}\}$, при котором функция цели достигает оптимального значения

$$\sum_s \sum_k C_1^s \frac{x_{spk} \sum_p t_{spk}^{ож} + t_{srk}^{ож}}{24} + C_2 \frac{t_{ож}^{нак}}{24} + C_3 \frac{t_{дем}^{нак}}{24} + \sum_s \sum_p \sum_k C_4^{sp} \frac{t_{зачистка}^{spk}}{24} \rightarrow \min. \quad (1)$$

Ограничения модели:

– объем перевозок, адресованный к накопителю, должен быть освоен

$$\sum_s \sum_p \sum_k x_{spk} Q_{spk} = G^{нак}; \quad (2)$$

– накопитель должен быть заполнен полностью

$$G^{нак} = \sum_p G_p; \quad (3)$$

– весь груз из p -го порта отправления, адресованный к накопителю, должен быть доставлен к накопителю

$$\sum_s \sum_k x_{spk} Q_{spk} = G_p, p = \overline{1, P}. \quad (4)$$

Решение задачи должно осуществляться в два этапа.

На первом этапе: исходя из текущей дислокации, отбираются суда, которые могут быть направлены на погрузку в p -е пункты, и осуществляется прогноз ввода судов на данный грузопоток. Суда отбираются таким образом, чтобы затраты времени на порожние пробеги s -х судов до p -го пункта отправления из d -го пункта дислокации были бы минимальными

$$\sum_s \sum_p \sum_d t_{spd} x_{spd} \rightarrow \min. \quad (5)$$

При выборе судов должен быть предоставлен приоритет тем судам, для которых:

Момент начала разгрузки s -го судна у r -го разгрузочного места у накопителя в k -ом груженом рейсе равен моменту готовности накопителя к грузовой обработке

$$T_{srk}^{HP3\Gamma} \geq 0, s = \overline{1, R}. \quad (6)$$

Момент начала загрузки для каждого s -го судна в p -ом пункте должен быть не позднее указанной даты, то есть s -е судно должно встать под обработку так, чтобы успеть подойти к накопителю к моменту его готовности к грузовой обработке

$$T_{spk}^{H3\Gamma} \geq T_{гот}^{нак} - (t_{spk}^{зае} + t_{spk}^{ха}), \quad (7)$$

Для остальных судов ($s > R$) момент начала загрузки в p -ом пункте должен быть не ранее момента окончания загрузки предыдущих судов

$$T_{s+1pk}^{H3\Gamma} \geq T_{spk}^{O3\Gamma}, s > R. \quad (8)$$

В пункте разгрузки суда выстраиваются в порядке очередности прибытия $T_{прибск}^{нак} \geq T_{прибс-1k}^{нак}$.

На втором этапе, пункты следующей загрузки судов подбираются для каждого s -го судна таким образом, чтобы время загрузки накопителя было минимальным

$$\sum_p \left(\sum_s^{\phi} \sum_l^L x_{spl} t_{spl} + \sum_s^{\phi} \sum_k^K x_{spk} t_{spk} \right) \Rightarrow \min. \quad (9)$$

Момент начала загрузки s -го судна в p -ом пункте должен быть не ранее момента окончания загрузки предыдущего судна

$$T_{spk}^{H3\Gamma} \geq T_{s-1pk}^{O3\Gamma}. \quad (10)$$

Момент начала разгрузки очередного s -го судна у r -го разгрузочного места у накопителя должен быть не ранее момента освобождения r -го разгрузочного места у накопителя (момента окончания разгрузки предыдущего судна)

$$T_{srk}^{HP3\Gamma} \geq T_{s-1rk}^{OP3\Gamma}. \quad (11)$$

Описанная на втором шаге задача многократно решается до полной загрузки накопителя

$$G'_p = G_p - \sum_s \sum_k x_{spk} Q_{spk} \text{ до тех пор пока } G'_p \geq 0, p = \overline{1, P}. \quad (12)$$

Все переменные целочисленные и неотрицательные

$$x_{spk} \in \{0,1\}; x_{spd} \in \{0,1\}; x_{spl} \in \{0,1\}. \quad (13)$$

Подобная задача может быть решена с помощью имитационного моделирования. При этом, для определения всех назначений судов к накопителю, учитывая простои отдельных судов в ожидании грузовой обработки, может оптимизироваться расход топлива [2], а также может определяться загрузка на один рейс с учетом условий плавания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Платова, Ю.И. Оперативное управление работой речного нефтеналивного флота: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Ю.И. Платова. -Н. Новгород, 1998. -48 с.

2 Платов, А.Ю. Методы оперативного планирования работы речного грузового флота в современных условиях / А.Ю. Платов. -Н. Новгород: Волж. гос. акад. вод. трансп., 2009. - 155 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: согласование, перевалка, непрерывное планирование, накопитель, трамповое судоходство
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Хорошева Александра Викторовна, аспирант ФГОУ ВПО «ВГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА СЕВЕРО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НА БАЗЕ КОНЦЕССИИ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

В.Я. Ткаченко, А.Г. Иванов

APPRAISAL OF ECONOMIC VIABILITY OF CONCESSION-BASED CAPITAL INVESTMENTS IN CONSTRUCTION OF NORTH-SIBERIAN RAILROAD

«Siberian state transport university»

V.Ya. Tkachenko, A.G. Ivanov

The article addresses economic expediency of capital investments into construction of North-Siberian Railroad and offers guidelines for enhancement of project effectiveness for investors involved.

Keywords: concession, public-private partnership, valuation, investment project, effectiveness, financial modeling

Рассмотрена экономическая целесообразность инвестиций в реализацию проекта строительства Северо-Сибирской железной на основе концессии, определены ключевые параметры, определяющие эффективность проекта для инвесторов.

Ограниченная плотность транспортных коммуникаций является одним из сдерживающих факторов на пути развития отечественной экономики. В масштабах России, с ее необъятными просторами и богатым ресурсным потенциалом, эта проблема актуализируется необычайно остро. Существующая транспортная сеть с каждым годом все менее способна удовлетворять растущим запросам экономических субъектов и динамике развития региональных и федеральных связей [1].

Поиск решения данной проблемы на государственном уровне привел в конце 2000-ых годов к разработке двух стратегических документов, призванных осуществить полную хозяйственную интеграцию регионов страны в единой мультимодальной транспортной сети, отвечающей вызовам нового времени. Это «Транспортная стратегия РФ на период до 2030 г.» и «Стратегия развития железнодорожного транспорта РФ до 2030 г.» (далее Стратегия 2030).

Оба документа уделяют особое внимание развитию железнодорожного транспорта как наиболее значимого с точки зрения реализации будущих экономических перспектив. Ключевым моментом, реализации обеих «стратегий» является применение механизма государственно-частного партнерства (ГЧП), прежде всего в форме концессий, для фондирования запланированных инвестиций [2].

Крупнейшим проектом в Стратегии-2030, реализуемым путем ГЧП, является строительство Северо-Сибирской железнодорожной магистрали («Северосиб»), протяженностью 2002 км, как звена нового широтного Северо-Российского Евразийского транспортного коридора. В предлагаемой статье рассматривается инструментарий инвестиционной оценки, ко-

торый, на наш взгляд, позволяет осуществить предварительную оценку ключевых параметров эффективной финансово-экономической реализации данного концессионного проекта с позиции частного капитала, который планируется привлечь для со-финансирования.

Подход к оценке концессионных проектов имеет некоторые существенные отличия от оценки классических инвестпроектов. В частности, это выражается в необходимости моделирования, в дополнение к стандартному вариативному анализу, различных сценариев развития проекта в зависимости от структуры и объема господдержки, а также длительности концессионного периода. По результатам сценарного анализа инвестор сможет оценить условия, необходимые для достижения требуемого уровня доходности и более основательно подходить к формированию тендерной документации на проект.

В рамках проекта «Северосиб» нами разработана инвестиционная модель концессионного проекта сроком на 44 года (9 лет – строительство объекта, 35 лет – эксплуатация) и общими инвестициями 360 млрд. руб. / из расчета 180 млн. руб. за 1 км строительства, в ценах нач. 2007 г. /, позволяющая аналитически оценить условия реализации данного проекта, максимально комфортные как для государства, так и для бизнеса.

Принятый в модели срок эксплуатации продолжительностью в 35 лет является вполне оправданным для столь капиталоемкой отрасли, как железнодорожное строительство и, вполне соответствует общемировой практике концессионного хозяйствования на железных дорогах [1].

Также были сделаны следующие исходные допущения: ставка дисконтирования – 13,76% / ставка дисконтирования была рассчитана по модели CAPM (Capital Markets Pricing Model), [3] / , доля участия частного сектора – 35%, долговое финансирование – 15% / для целей упрощения, базовый уровень долговой нагрузки в 15% статичен и не будет меняться при последующих расчетах анализа чувствительности и определении оптимального срока концессии. Таким образом, доля государственного участия в проекте для каждого сценария вычисляется как разность между 100% и суммой долей участия частного капитала в проекте, и 15% долей кредитного финансирования /, государственное участие – 50%.

По итогам моделирования обозначились следующие результаты: $NPV = 108,2$ млрд. руб., $IRR = 8,6\%$, дисконтированный срок окупаемости составил 19,4 лет. Поскольку значение IRR оказалось меньше ставки дисконтирования (13,76%), проект при базовых параметрах оказался бы не интересен потенциальным инвесторам.

Следующим за этапом моделирования, был проведен анализ чувствительности проекта для определения эластичности значений IRR к различным вариациям ключевых параметров проекта и определения направлений для оптимизации входных параметров модели с целью повышения эффективности проекта концессии.

На рисунке 1 представлена таблица анализа чувствительности показателя IRR в зависимости от изменения суммы капитальных вложений в проект и доли финансирования, приходящейся на частный сектор. Таблица позволяет рассмотреть различные вариации этих двух параметров, включая их самые экстремальные значения. Можно заметить, что при удорожании строительства до 500-550 млрд. руб. достижение приемлемой рентабельности на инвестированный капитал возможно только при условии сопутствующего сокращении доли участия инвестора в проекте до 10%. Более того, при моделируемом нами значении капиталовложений в 360 млрд. руб., коммерческая эффективность достигается при уровне государственной поддержки не менее 75%.

Итак, на основе полученных результатов можно установить логическую взаимосвязь, согласно которой с ростом объема инвестиций и доли участия бизнеса происходит снижение нормы доходности на вложенный капитал и, наоборот, снижение уровня указанных параметров ведет к приращению благосостояния концессионера.

Установим степень влияния ставки дисконтирования на эффективность проекта в зависимости от уровня участия концессионера.

Из рисунка 2 следует, что при сохранении структуры финансирования проекта, где государственная поддержка не превышает 65%, колебания ставки дисконтирования в пределах $\pm 3\%$ не дадут значимого повышения эффективности проекта. При любом из таких сценариев реализация проекта будет приносить доходность, граничащую с убыточностью, и вряд ли будет востребована частным сектором. Из таблицы также следует, что путем снижения уровня частного фондирования до 10-15% возможно достичь высокого уровня рентабельности проекта даже при ставке дисконта свыше 17%.

Результаты расчетов позволяют сделать следующие выводы:

– общие инвестиции в проект не должны превысить 450 млрд. руб.;

- в случае сохранения значимой доли участия частного капитала, ставка дисконтирования должна быть не более 14%;
- совокупные инвестиции концессионера могут колебаться в диапазоне от 10-25% в зависимости от величины ставки дисконтирования и объема инвестиций.

Объем инвестиций, млн. руб.	Доля участия частного капитала в проекте						
	10%	20%	25%	35%	50%	60%	80%
200000	40.0%	28.8%	24.9%	19.1%	13.5%	11.0%	7.4%
250000	33.9%	23.4%	19.8%	14.7%	9.9%	7.7%	4.7%
300000	29.1%	19.2%	16.0%	11.5%	7.2%	5.4%	2.8%
360000	24.6%	15.5%	12.6%	8.6%	4.9%	3.3%	<0
400000	22.1%	13.4%	10.7%	7.0%	3.7%	2.2%	<0
500000	17.1%	9.5%	7.2%	4.1%	<0	<0	<0
550000	15.1%	7.9%	5.8%	3.0%	<0	<0	<0

Рисунок 1 – Чувствительность NPV проекта к объему инвестиции и доли участия частного капитала в проекте

Ставка дисконтирования	Доля участия частного капитала в проекте						
	10%	20%	25%	35%	50%	60%	80%
10.8%	28.0%	18.6%	15.6%	11.5%	7.7%	6.1%	3.8%
11.8%	26.9%	17.5%	14.6%	10.5%	6.8%	5.1%	2.8%
12.8%	25.7%	16.5%	13.6%	9.5%	5.8%	4.2%	1.9%
13.8%	24.6%	15.5%	12.6%	8.6%	4.9%	3.3%	<0
14.8%	23.5%	14.5%	11.6%	7.6%	4.0%	2.4%	<0
15.8%	22.5%	13.5%	10.6%	6.7%	3.1%	1.5%	<0
16.8%	21.4%	12.5%	9.7%	5.8%	2.2%	<0	<0

Рисунок 2 – Чувствительность IRR проекта к ставке дисконтирования и доли участия частного капитала в проекте

Следующий этап работ над моделью состоит в определении оптимального срока концессии и объема государственной поддержки, приемлемых с позиции коммерческой эффективности.

Для того, чтобы оценить потенциальные выгоды и упущения, возникающие вследствие изменения периода концессии и определить компромиссный период концессионного хозяйствования, моделируются различные сценарии развития базовой модели, путем варьирования срока концессии и объема государственной поддержки.

Результаты расчетов, приведенные на рисунке 3, подтверждают тезис о важности правильного определения срока концессии и объема господдержки в концессионных проектах. Из рисунка следует, что моделируемый нами 44-летний срок концессионного периода необоснованно завышен, поскольку по пересечению 35 летнего рубежа действия концессии, увеличение срока концессии перестает оказывать материально значимое влияние на доходность проекта, добавляя десятые, а то и сотые доли % к критерию IRR с каждым новым увеличением срока концессии на дополнительные 10 лет.

Что касается объема господдержки, то здесь, напротив, отчетливо просматривается корреляция результирующих показателей оценки и уровня государственных инвестиций в проект. Так, наиболее значимое повышение эффективности проекта прослеживается при увеличении уровня господдержки с 60% до 70%.

На основе изложенных результатов можно сделать следующие обобщающие выводы:

- срок концессионного периода может быть безболезненно уменьшен до 35 лет без нанесения существенного ущерба коммерческим интересам концессионера;
- для достижения доходности, превышающей затраты на собственный капитал инвестора, доля господдержки должна быть не меньше 60%.

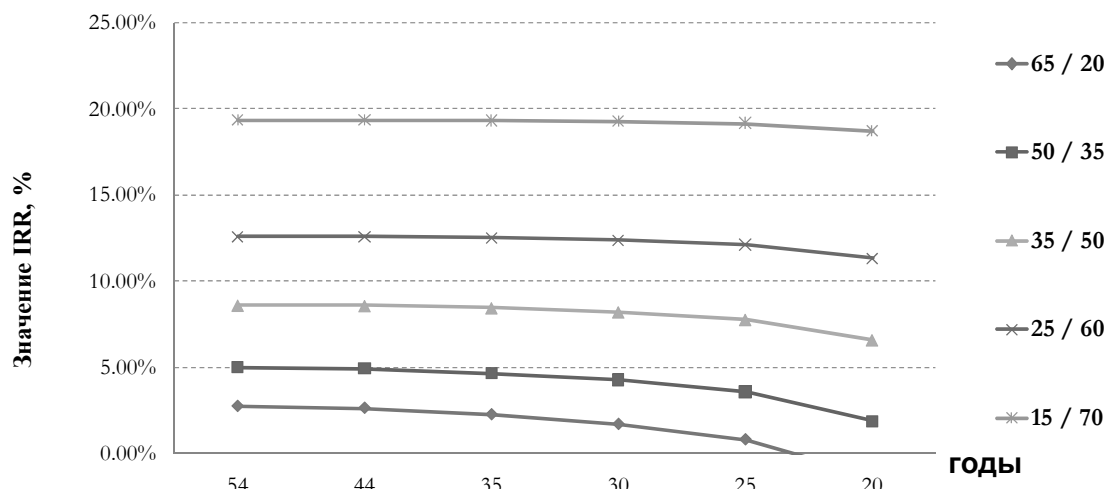


Рисунок 3 – Эластичность значения IRR к сроку концессии и объему господдержки (частное/государственное финансирование)

Для повышения экономической результативности концессионного проекта «Северосиб», можно рекомендовать следующие меры по его дальнейшей оптимизации:

- снижение ставки дисконта путем предоставления дополнительных гарантий кредиторам, что существенно снизит риски проекта, и, тем самым, понизит рисковую премию собственного капитала, а также стоимость кредитных ресурсов.
- увеличение доли госфинансирования при сохранении контроля над проектом со стороны инвестора. Это даст инвестору значимый прирост к текущей доходности своих вложений, не опасаясь за потерю контроля над проектом;
- предоставить концессионеру приоритетное право разработки ряда месторождений в зоне хозяйственного тяготения магистрали. Денежный поток от реализации освоенческих проектов поможет концессионеру достичь приемлемых уровней окупаемости проекта и, вполне вероятно, может существенно сократить срок концессии и уровень господдержки.

Отметим, что изложенные рекомендации требуют проведения отдельного подробного анализа и, будучи основанными на дедуктивных заключениях представленной в статье модели, пока носят лишь ориентировочный характер.

В целом же полученные выводы и предложенный инструментарий по оценке концессионных проектов может быть успешно адаптирован в качестве базовой модели для оценки будущих проектов, как в транспортной сфере, так и в ряде других инфраструктурных отраслях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Варнавский, В.Г. Концептуальные проблемы инвестиций в производственную инфраструктуру: мировой опыт и Россия / В.Г. Варнавский // Экономика стр-ва. -2002. -№12.
- 2 Ромашов, И. Частный инвестор и государство: залог рентабельности проектов / И. Ромашов // РЖД-партнер. -2007. -№24.
- 3 Шарп, У. Инвестиции: пер. с англ. / У. Шарп, Г. Александер, Дж. Брейли. -М.: ИНФРА-М, 1998.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА концессия, государственно-частное партнерство, оценка, инвестиционный проект, эффективность, финансовое моделирование

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Ткаченко Виктор Яковлевич, докт. экон. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»
Иванов Андрей Германович, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»

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

ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ В ПУТЕВОМ ХОЗЯЙСТВЕ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей
сообщения»
«Строительно-монтажный трест №12», филиал ОАО
«Росжелдорстрой»

В.Д. Верескун, В.С. Воробьев, М.Ю. Квинт, К.В. Катыльмова

THE ESTIMATE OF ECONOMICAL RELIABILITY OF COST MANAGEMENT IN TRACK FACILITIES

«Siberian state transport university»
«Construction trust No.12», branch «Roszheldorstroy»
V.D. Vereskun, V.S. Vorobjev, M.Yu. Kvint, K.V. Katalimova

Given the main notions of the control device for economical reliability and of economical indicator in track facilities, given statistical dependence between expenditure in track facilities of West-Siberian railway. The economical reliability has been calculated.

Keywords: the control device, estimate, economical reliability, the costs, capital costs, day-to-day operation

Даны основные понятия организационно-экономической надежности механизма управления и экономических показателей путевого хозяйства, установлены статистические зависимости между статьями расходов путевого хозяйства Западно-Сибирской железной дороги, рассчитана их организационно-экономическая надежность.

Проводимое реформирование инфраструктурного комплекса железнодорожного транспорта прежде всего направлено на совершенствование механизма управления, в том числе путевым хозяйством. Под механизмом управления понимается совокупность правил и процедур принятия управленческих решений. Оценка его эффективности может быть выполнена по результатам деятельности путевого хозяйства на определенном отрезке времени. Однако, такой подход не позволяет оценить альтернативные варианты и выбрать лучший. Кроме того, наряду с эффективностью необходимо анализировать надежность механизма управления. Под надежностью механизма будем понимать его способность обеспечивать принадлежность основных параметров системы заданной области в процессе ее функционирования. Основной характеристикой надежности механизма управления путевым хозяйством может служить вероятность выхода существенных параметров системы из допустимого множества при заданном управлении.

Управленческие организационно-технологические и экономические решения (ОТЭР) определим как систему оптимальных технологических, организационных и экономических параметров работ на объекте, обеспечивающих достижение целей в пределах заданного ограничения затрат и времени при распределении ресурсов, установленных на стадии планирования.

В соответствии с теорией принятия решений организационно-технологические и экономические решения представляют собой подходы и методы анализа ситуаций вне и внутри проекта (эксплуатация, ремонт, капитальный ремонт, реконструкция), сведения о предпочтениях участников проекта, их отношение к риску. Основой решения является обоснование организационных проблем, вызванных необходимостью структурирования работ; технологических проблем, определяемых технологической интенсивностью производства работ; организационно-технологических проблем, связанных с сбалансированностью этих решений.

Надежное функционирование системы железнодорожного транспорта должно базироваться на анализе процессов, происходящих на протяжении значимого временного промежутка. Для анализа целесообразно выбрать интегральные показатели, обобщенно характеризующие производственные, организационно-технологические и экономические факторы, определяющие поведение системы в целом.

В качестве интегрального показателя эффективности затрат на выполнение путевых работ предлагается ввести новую категорию: организационно-экономическую надежность (ОЭН).

Под ОЭН будем понимать способность организационно-экономической системы быть устойчивой против внешних воздействий и, в случае изменения своих свойств, не выходить из зоны организационно-экономической безопасности, характеризуемой уровнем выполнения путевых работ и затрат на их реализацию, обеспечивающих безопасное движение поездов.

дов.

Нами получена статистическая зависимость между расходами путевого хозяйства и капитальными затратами, материалами, заработной платой (таблица 1-3).

$$Y = 0,445X_1 + 19,863X_2 + 4,739X_3. \quad (1)$$

Таблица 1 – Корреляционные отношения между издержками

	Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3	Столбец 4
Столбец 1	1			
Столбец 2	0,31113611	1		
Столбец 3	0,55797873	-0,18662268	1	
Столбец 4	0,49546998	-0,05059986	0,15691564	1

Графический вид зависимости между капитальными затратами и общими расходами приведен на рисунке 1. Его анализ показывает, что в последние годы руководством Западно-Сибирской железной дороги приняты решительные меры по устройству бесстыкового пути.

Таблица 2 – Регрессионная статистика издержек

Параметр	Численное значение
Множественный R	0,81758677
R-квадрат	0,66844813
Нормированный R-квадрат	0,63019215
Стандартная ошибка	61541,5768
Наблюдения	30

Таблица 3 – Уравнение регрессии и статистические параметры издержек

Параметр	Y -пересечение	Переменная X_1	Переменная X_2	Переменная X_3
Кoeffициенты	-214260,032	0,44513168	19,8630628	4,73871442
Стандартная ошибка	78258,0495	0,11639189	4,03099302	1,26679387
t-статистика	-2,7378657	3,82442173	4,92758551	3,74071468
P-значение	0,01101	0,000738	$4,07 \cdot 10^{-5}$	0,000916
Нижние 95%	-375121,75	0,20588472	11,5772380	2,13478235
Верхние 95%	-53398,3	0,684379	28,14889	7,342646

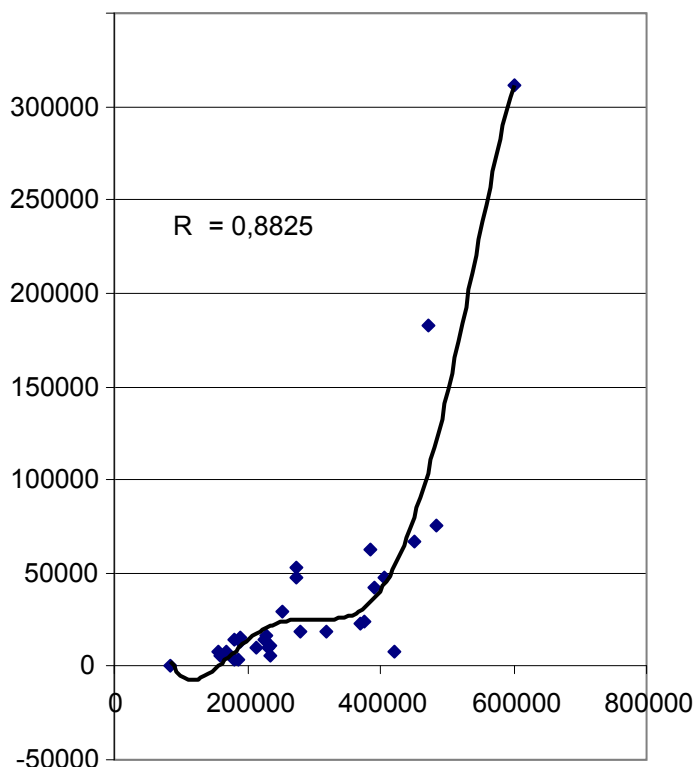


Рисунок 1 – Затраты на капитальный ремонт в общих расходах путевого хозяйства (полиномиальная зависимость)

Оценка ОЭН должна учитывать стохастический характер изменения ряда показателей, характеризующих организацию производства той или иной службы, а также потенциально возможный инновационный характер развития отрасли.

Рассмотрим метод определения ОЭН, основанный на предположении отклонения фактических показателей от плановых для i -го показателя, функции или задачи как случайной величины (СВ) ξ_i .

Так как число факторов, влияющих на ξ_i в каждом хозяйстве железнодорожного транспорта велико, то можно применить центральную предельную теорему теории вероятностей и допустить, что ξ_i имеет нормальное распределение. Гипотезу о нормальности распределения случайной величины ξ_i для i -го хозяйства можно проверить с помощью χ^2 -критерия по известным методикам.

Под ОЭН в данной модели будем понимать вероятность того, что СВ ξ_i принимает неотрицательное значение (факт не ниже плана). Эта вероятность

равна

$$\omega_i = p(\xi \geq 0) = 1 - \Phi\left(\frac{0 - \xi_i}{S_i}\right), \quad (2)$$

где Φ – интеграл вероятностей – стандартное нормальное распределение СВ с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией;

S_i – среднеквадратическое отклонение величины ξ_i .

Плотность распределения СВ ξ_i

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \frac{-(x - \bar{\xi}_i)^2}{2S_i^2}. \quad (3)$$

ОЭН службы в целом может быть определена, исходя из нормальности распределения величины ξ отклонения фактических показателей от плановых при независимых величинах отклонений ξ_i хозяйств. Тогда

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_m. \quad (4)$$

Среднее значение и дисперсия определяются как:

$$\bar{\xi} = \bar{\xi}_1 + \bar{\xi}_2 + \dots + \bar{\xi}_m; \quad S^2 = S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_m^2; \quad S = \sqrt{S^2}. \quad (5)$$

ОЭН

$$\omega = P(\xi \geq 0) = 1 - \Phi\left(\frac{0 - \bar{\xi}}{S}\right). \quad (6)$$

В процессе исследований нами выполнены расчеты, проведена статистическая обработка и имитационное моделирование планирования затрат на текущую эксплуатацию, капитальный ремонт, материалы и заработную плату по службе пути Западно-Сибирской железной дороги. При моделировании использован программный комплекс [1]. Приведем графики плотности распределения, функции распределения и ОЭН отклонения плановых затрат от фактических на текущую эксплуатацию (рисунок 2-4).

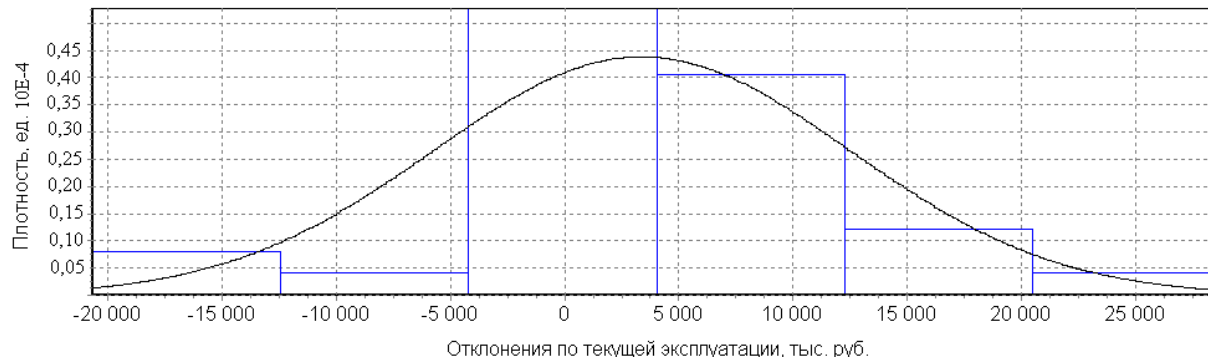


Рисунок 2 – Плотность распределения отклонения фактических затрат от планируемых на текущую эксплуатацию (план-факт)

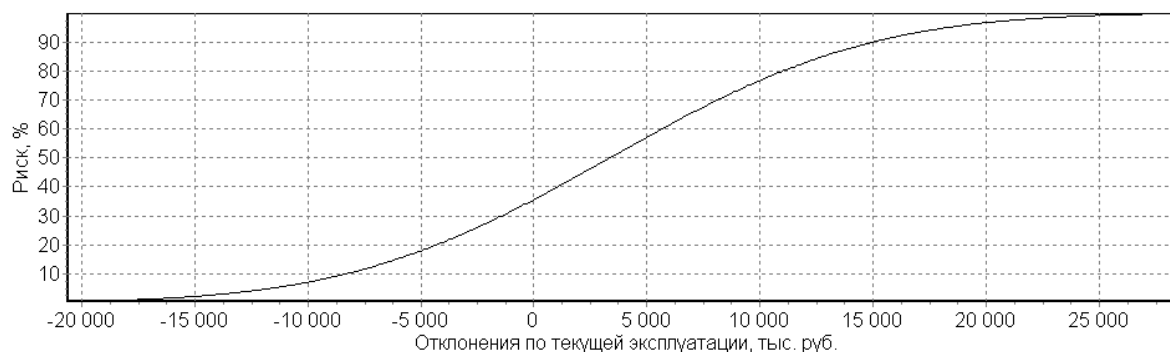


Рисунок 3 – Функция распределения отклонения фактических затрат от планируемых на текущую эксплуатацию (план-факт)

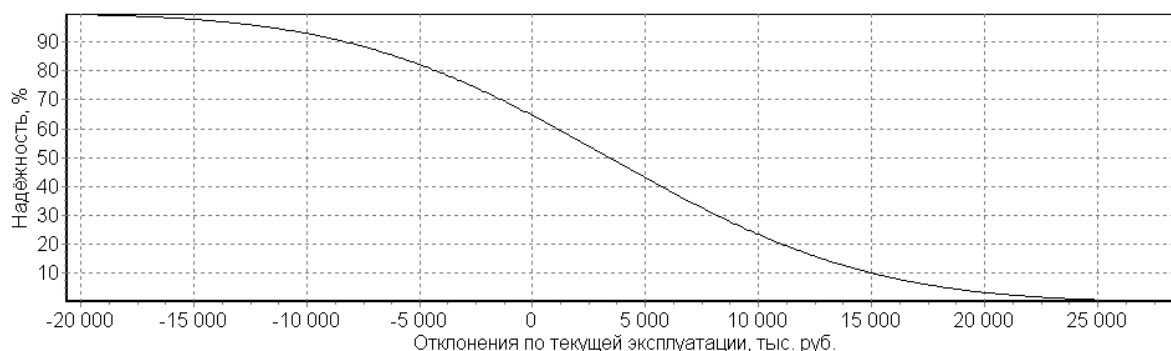


Рисунок 4 – Организационно-экономическая надежность текущей эксплуатации пути

Для оценки эффективности механизма управления путевым хозяйством необходимо определить зону (min - max) допустимых значений ОЭН по каждой статье затрат с учетом (1) и путевому комплексу в целом. Это целесообразно сделать методом экспертных оценок.

Согласно формуле (6) ОЭН является вероятностью, обратной функции распределения отклонения фактических затрат на текущую эксплуатацию от плановых. Чем больше отклонение, тем меньше вероятность. Допустимый уровень ОЭН определяется экспертным методом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Свидетельство об отраслевой регистрации разработки №3057 «Программный комплект «КОМПАС» от 19.12.2003 г. / В.И. Котюков, В.Я. Ткаченко, С.М. Кузнецов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА механизм управления, оценка, организационно-экономическая надежность, расходы, капитальные затраты, текущая эксплуатация

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Верескун Владимир Дмитриевич, канд. техн. наук, профессор, ректор ГОУ ВПО «СГУПС»

Воробьев Валерий Степанович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»

Квинт Марина Юрьевна, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»

Каталымова Ксения Валерьевна, начальник отдела правовой и кадровой работы СМТ-12, филиал ОАО «Росжелдорстрой»

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

663003, г. Новосибирск, ул. Саратовская, 13, СМТ-12, филиал ОАО «Росжелдорстрой»

СТОИМОСТНЫЙ АНАЛИЗ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ – ЕСТЕСТВЕННОЙ МОНОПОЛИИ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.А. Щербаков, Н.А. Щербакова

VALUE ANALYSIS OF ENTERPRISE'S ACTIVITY RESULTS - THE NATURAL MONOPOLY

«Siberian state transport university»

«Novosibirsk state technical university»

V.A. Shcherbakov, N.A. Shcherbakova

The index of the disagreement of the results of calculating the value by Income and Costs approaches is examined like the basic resultant index of cost analysis.

Keywords: prognostication, cash flows, value analysis, statistical models

В качестве основного результирующего показателя стоимостного анализа рассматривается показатель рассогласования результатов расчета стоимости доходным и затратным подходами.

Проблема экономического анализа результатов деятельности предприятий являлась актуальной всегда и, очевидно, будет таковой в будущем. При этом в современных экономических и организационных условиях такие базовые показатели как доход, себестоимость, прибыль, стоимость активов (и производные из них показатели: рентабельность, оборачиваемость и др.) все в меньшей степени отражают реальные результаты хозяйственной дея-

тельности. Особенно ярко данные проблемы проявляются применительно к крупным предприятиям (корпоративным группам), имеющим широко диверсифицированный спектр выпускаемой продукции, работ или услуг или относящимся к отраслям естественных монополий (транспорт, энергетика, связь). Сюда же можно отнести предприятия инновационно-инвестиционной сферы, результаты деятельности, которых, проявляются в достаточно длительном временном промежутке.

В зарубежной и отечественной аналитической практике все чаще используется показатель «стоимость предприятия (бизнеса)» [1]. Изменение данного показателя комплексно характеризует итоги и перспективы деятельности, как всего предприятия в целом, так и его менеджмента, в частности. Однако реальное и эффективное использование данного показателя и его производных (прежде всего, имеется в виду показатель «отдача стоимости предприятия») в настоящее время представляется затруднительным по следующим двум основным причинам:

1 Неоднозначность в выборе тех или иных решений в процессе расчетов и высокая степень субъективизма, присутствующие в известных методиках оценки стоимости предприятия затрудняет их использование в аналитическом инструментарии экономических служб самих предприятий и, как правило, требует участия специально обученных специалистов – «оценщиков». Положение не спасает даже использование более «алгоритмизированной» западной методики на основе так называемой «добавленной экономической ценности (EVA)».

2 В экономической науке стоимость принято рассматривать с двух сторон: со стороны полезности объекта и со стороны возможной продажи (мены) объекта [2]. Отсюда вытекает понимание стоимости как ценности объекта и стоимости как возможной цены объекта. Широко используемые в настоящее время в оценочной деятельности методики ориентированы, прежде всего, вторую составляющую стоимости (стоимость продажи). Тем не менее, как представляется, в экономическом анализе результатов деятельности более правильно было бы ориентироваться на стоимость как меру полезности.

Для устранения перечисленных выше противоречий и элементов субъективизма в оценке стоимости предприятия предлагается использовать методику детерминированного факторного анализа.

Анализ стоимости предприятия предполагает расчет двух показателей:

– стоимость предприятия как имущественного комплекса (S_s), который определяется с использованием затратного подхода как разницы между рыночной стоимостью активов предприятия и текущей стоимостью его обязательств;

– стоимость предприятия как источника доходов (S_o), определяемая с использованием доходного подхода как дисконтированная стоимость прогнозных денежных потоков (капитализация дохода используется редко из-за значительных колебаний потоков дохода предприятий по годам).

В качестве основного результирующего показателя анализа стоимости предприятия рассмотрим показатель рассогласования результатов расчета стоимости доходным и затратным подходами (ΔS), который рассчитаем как разницу результатов доходного и затратного подходов (S_o и S_s соответственно) по формуле

$$\Delta S = S_o - S_s.$$

Расчет стоимости предприятия доходным подходом проводится методом дисконтирования денежных потоков по формуле [1]

$$S_o = \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+DR)^i} + \frac{FV}{(1+DR)^n}, \quad (1)$$

где n – число лет выбранного прогнозного периода;

CF_i – денежный поток i -го года прогнозного периода;

DR – ставка дисконтирования;

FV – стоимость имущества в постпрогнозный период (реверсия).

Ожидаемую стоимость имущества в постпрогнозный период принято рассчитывать в соответствии с моделью Гордона [1]

$$FV = \frac{CF_{(n+1)}}{DR - t}, \quad (2)$$

где $CF_{(n+1)}$ – денежный поток в первый год постпрогнозного периода;

t – долгосрочные темпы роста денежного потока в постпрогнозном периоде.

С учетом формулы (2) формула (1) примет вид

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+DR)^i} + \frac{CF_{(n+1)}}{(DR-t)(1+DR)^n}. \quad (3)$$

Введем новые показатели:

– суммарный денежный поток по годам прогнозного периода и первого года постпрогнозного периода

$$CF_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n+1} CF_i;$$

– коэффициент структуры денежного потока по годам

$$k_i = \frac{CF_i}{CF_{\Sigma}}, \quad (4)$$

где $i = 1, 2, \dots, (n+1)$.

Суммарный дисконтированный денежный поток по годам прогнозного периода и первого года постпрогнозного периода

$$CF_{i\Sigma} = \begin{cases} \frac{CF_{\Sigma}}{(1+DR)^i}, & \text{если } i = 1, 2, \dots, n \\ \frac{CF_{\Sigma}}{(DR-t) \cdot (1+DR)^{i-1}}, & \text{если } i = n+1 \end{cases} \quad (5)$$

где $i = 1, 2, \dots, (n+1)$.

С учетом введения новых показателей формула (3) примет вид

$$S_0 = \sum_{i=1}^{n+1} k_i \cdot CF_{i\Sigma}. \quad (6)$$

Формула (6) представляет собой классическую двухфакторную детерминированную модель, которая определяет влияние на результирующий показатель (стоимость предприятия) следующих факторов:

- фактор структуры денежных потоков k_i , характеризующий нестабильность функционирования предприятия в прогнозный период и первый постпрогнозный год;
- фактор суммарного денежного потока $CF_{i\Sigma}$, характеризующий уровень доходности хозяйственной деятельности предприятия.

Для анализа влияния факторов на стоимость предприятия задаются базовые и фактические значения результирующего показателя и величин факторов модели (более подробно методика изложена в [3] с приведением примера расчетов для предприятия).

Тогда для вычисления реальной стоимости предприятия используется формула

$$S_p = S_0 - \sum_{i=1}^{n+1} (k_i^{(1)} - k_i^{(0)}) (CF_{i\Sigma}^{(0)} - S_0).$$

Таким образом, полученная величина показателя стоимости предприятия S_p позволяет проводить анализ динамики его изменения как для отдельно взятого предприятия, так и в сравнении с другими предприятиями по единой расчетной методике.

В заключение отмечу, что изложенная методология стоимостного анализа хозяйственной деятельности предприятий является инновационной и может использоваться для решения широкого круга задач современной экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Щербаков, В.А. Оценка стоимости предприятия (бизнеса) / В.А. Щербаков, Н.А. Щербакова. -3-е изд. -М.: Омега-Л, 2009. -299 с.
- 2 Елисеев, В.М. Системная технология оценки стоимости крупных производственных комплексов / В.М. Елисеев: отв. ред. М.В. Лычагин. -Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2004. - 212 с.
- 3 Щербаков, В.А. Использование факторного анализа при согласовании результатов оценки бизнеса / В.А. Щербаков, Н.А. Щербакова // Сиб. финанс. шк. -2009. -№5(76). -С.70-73.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

стоимостный анализ хозяйственной деятельности, стоимость предприятия, естест-

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Шербаков Валерий Александрович, канд. экон. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»*
Шербакова Наталья Александровна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*
630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»
 ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.А. Шербаков, Г.Л. Русин, Н.А. Шербакова

IMPROVEMENT OF THE PROGNOSTICATION OF RAIL TRANSPORT ENTERPRISE'S ACTIVITY RESULTS FOR PURPOSES OF VALUE ANALYSIS

«Siberian state transport university»
 «Novosibirsk state technical university»
 V.A. Shcherbakov, G.L. Rusin, N.A. Shcherbakova

The possibility of an improvement in the quality of the prognostication of the enterprise activity's results for purposes of the value analysis of its activity is describing. Indices with the detailed discretion of measurements are analyzed.

Keywords: *prognostication, cash flows, value analysis, statistical models*

Рассматривается возможность повышения качества прогнозирования результатов деятельности предприятия для целей стоимостного анализа его деятельности. Анализируются показатели с детальной дискретностью измерений.

Повышение качества прогнозирования деятельности компании является важной и сложной задачей. Важность определяется тем, что от точности прогнозов, например, денежных потоков [1], зависят результаты стоимостного анализа деятельности предприятия и его подразделений [2]. Сложность прогнозирования связана со статистической неустойчивостью показателей деятельности, низким качеством имеющейся информации, её несопоставимостью по ценам, годовым периодом опубликования отчетности, необходимостью применения разнообразных экономико-математических моделей и сложностью их содержательной интерпретации.

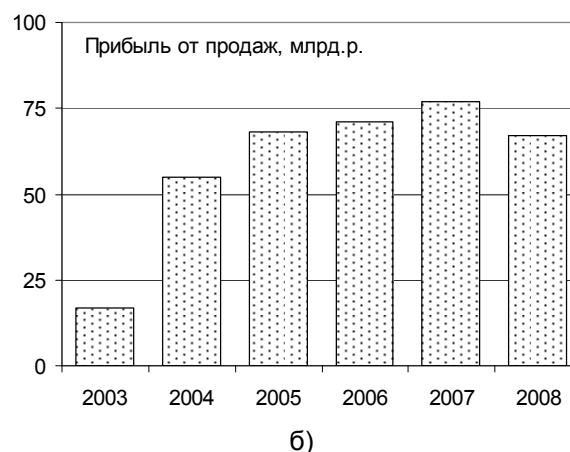
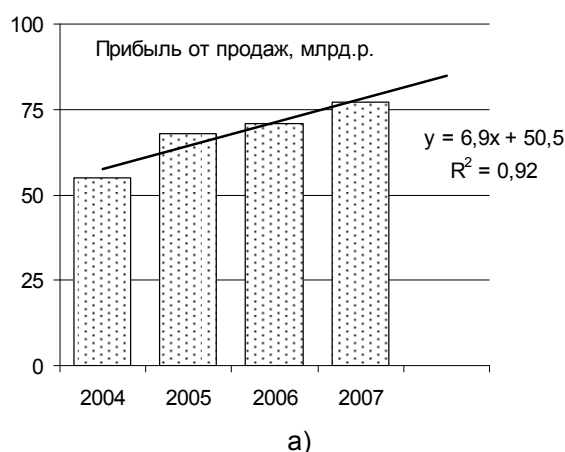


Рисунок 1 – Динамика прибыли от продаж

В отчетных данных РАО «РЖД» денежные потоки представлены в максимально агрегированном виде. Это показатели, как правило, в денежном измерении на уровне всего РАО, либо по укрупненным направлениям инвестирования с годовой дискретностью. Например, на рисунке 1 показана динамика прибыли от продаж. Прогноз сделанный в конце 2007 года по данным от начала организации РАО «РЖД» в 2004 году показал бы «устойчивую» тенденцию развития в этом периоде со средним приростом прибыли около 10 млрд. руб. (рису-

нок 1а). Точечный прогноз по этому тренду достигает 87 млрд. руб. Однако для надежных статистических выводов такого объема данных недостаточно. Это продемонстрировал кризис 2008 года, когда прибыль упала до 67 млрд. руб. (рисунок 1б). Расхождение с таким прогнозом составляет почти 30%. При этом план по прибыли в 2008 году корректировался даже до 54 млрд. руб.

Для получения статистически надежных оценок можно попытаться проанализировать показатели, представленные в отчетности, допускающие более детальную дискретность измерений. Это, например, грузооборот, объемы пассажирских и грузовых перевозок и др. На рисунке 2 показана динамика объемов среднесуточной погрузки с 2003 по 2008 год с дискретностью в один месяц. Этот показатель допускает и более детальную дискретизацию, вплоть до суток.

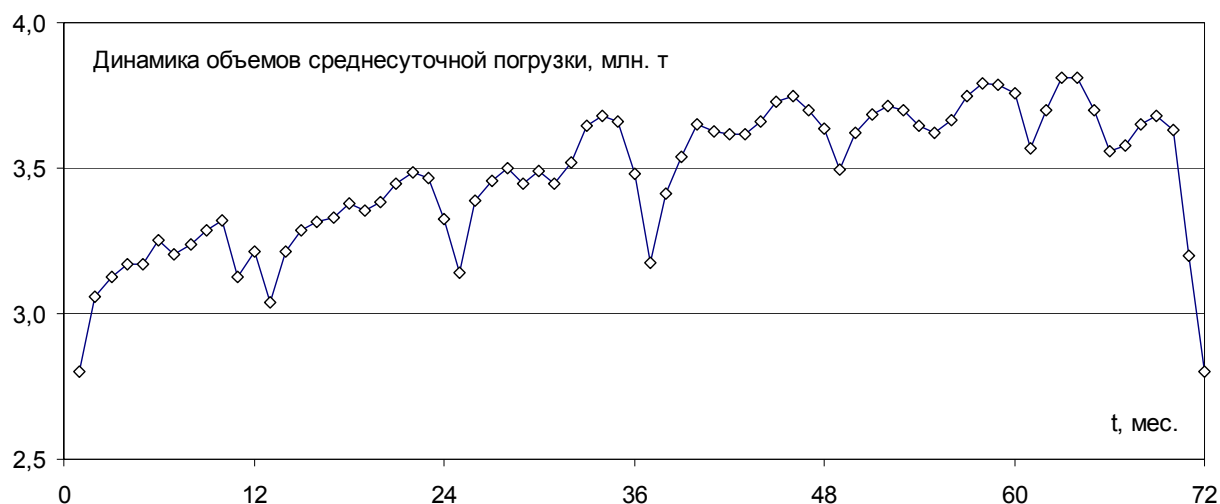


Рисунок 2 – Динамика объемов среднесуточной погрузки с 2003 по 2008 год, млн. т

Подобные показатели можно использовать для детализации стоимостных показателей, представленных с годовой дискретизацией, таких, как прибыль от продаж (см. рисунок 1), доходы и расходы от пассажирских и грузовых перевозок и др. Действительно, корреляция между ними и среднесуточной погрузкой с годовой дискретностью значима. В таблице представлена корреляционная матрица таких показателей. Здесь: X_1 – среднесуточная погрузка; X_2 – выручка (нетто) от продажи товаров, продукции, работ, услуг; X_3 – себестоимость проданных товаров, продукции, работ, услуг; X_4 – прибыль от продаж; X_5 – выручка (грузовые перевозки); X_6 – себестоимость (грузовые перевозки); X_7 – прибыль от перевозки грузов (X_1 в млн. т; $X_2 - X_7$ в млрд. руб.).

Таблица – Корреляционная матрица

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
X_1	1,00						
X_2	0,98	1,00					
X_3	0,98	1,00	1,00				
X_4	0,98	0,93	0,92	1,00			
X_5	0,97	1,00	1,00	0,91	1,00		
X_6	0,98	1,00	1,00	0,92	1,00	1,00	
X_7	0,81	0,89	0,89	0,70	0,90	0,89	1,00

Традиционные модели временных рядов (трендовые, сезонные, авторегрессии – проинтегрированного скользящего среднего) дают для динамики объемов среднесуточной погрузки недостаточно точные результаты. Действительно, возьмем пока для простоты участок устойчивого роста показателя на рисунке 2 – с января 2003 до декабря 2006 года ($t = 1, 2, \dots, 48$ месяцев). Пики спектральной плотности мощности (рисунок 3.) позволяют специфициро-

вать в модели легкий тренд и мощную сезонную (циклическую) составляющую с периодами 6 и 12 месяцев.

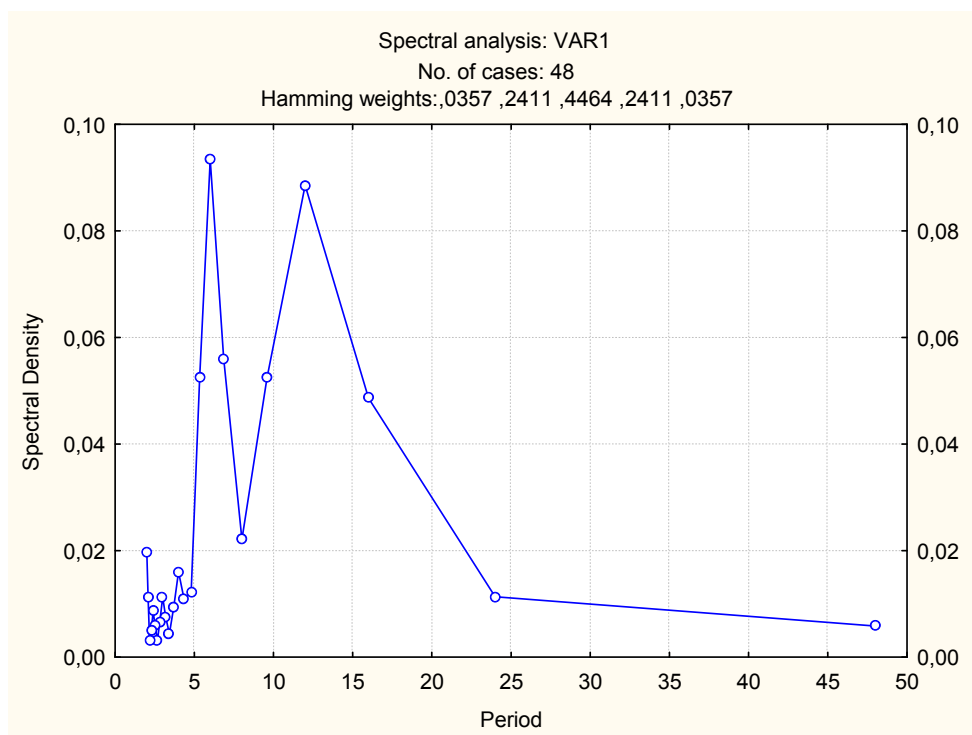


Рисунок 3 – Спектральная плотность мощности среднесуточной погрузки



Рисунок 4 – Трендово-сезонная модель среднесуточной погрузки

Поэтому зададим модель в виде

$$x_t = a_0 + a_1 t + a_2 \cos \frac{2\pi}{6} t + a_3 \sin \frac{2\pi}{6} t + a_4 \cos \frac{2\pi}{12} t + a_5 \sin \frac{2\pi}{12} t + \varepsilon_t. \quad (1)$$

где ε_t – случайные возмущения.

График полученной модели показан на рисунке 4 пунктиром. Стандартное отклонение остатков составило 0,094, асимметрия (-1,20), эксцесс 1,85. То есть адекватность модели невысокая.

Модель можно существенно улучшить, если рассматривать периоды циклической составляющей не как детерминированные, а как случайные величины. На рисунке 5 показана автокорреляционная функция для рассматриваемого ряда. Видно, что она значима на задержках в 1 и 12 месяцев. Авторами исследован класс регрессионно-разностных моделей.

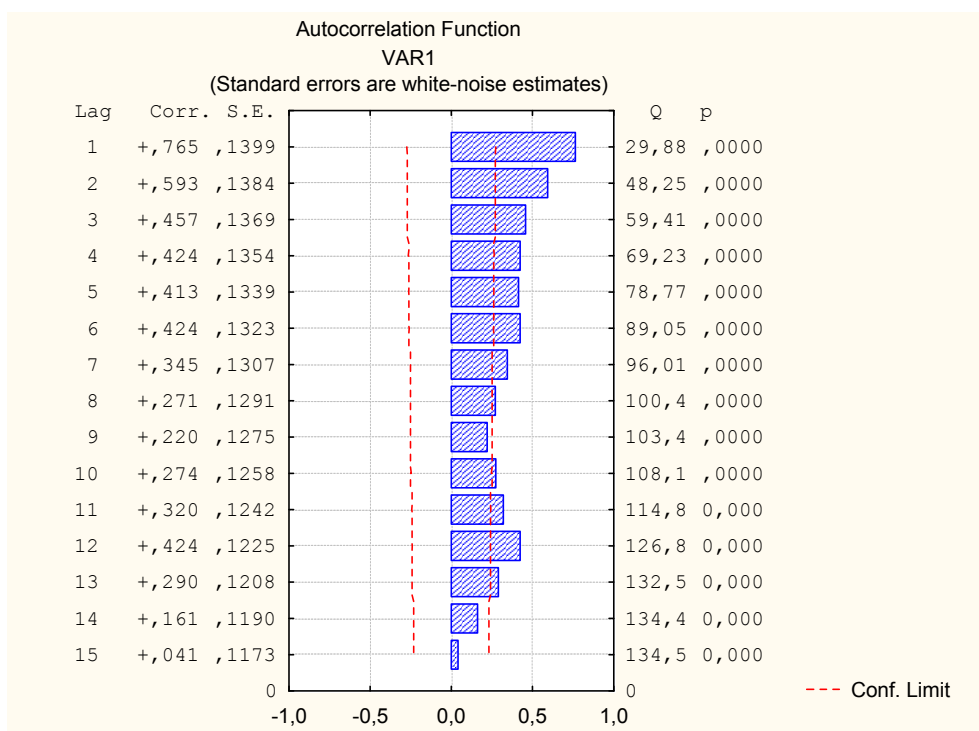


Рисунок 5 – Автокорреляционная функция

Окончательно выбрана и оценена разностная модель

$$x_t = 0,235x_{t-1} + 0,798x_{t-12} + \varepsilon_t. \quad (2)$$

Стандартное отклонение остатков составило 0,055, асимметрия (-0,15), эксцесс 1,59. Выборочное значение t -статистики составило для оценки первого параметра 3,18, для второго 10,38. R -квадрат равен 0,999. Выборочное значение F -статистики Фишера составило 68900. Все это говорит о высокой адекватности модели. Улучшение характеристик остатков модели (2) по сравнению с моделью (1) видно на гистограммах (рисунок 6).

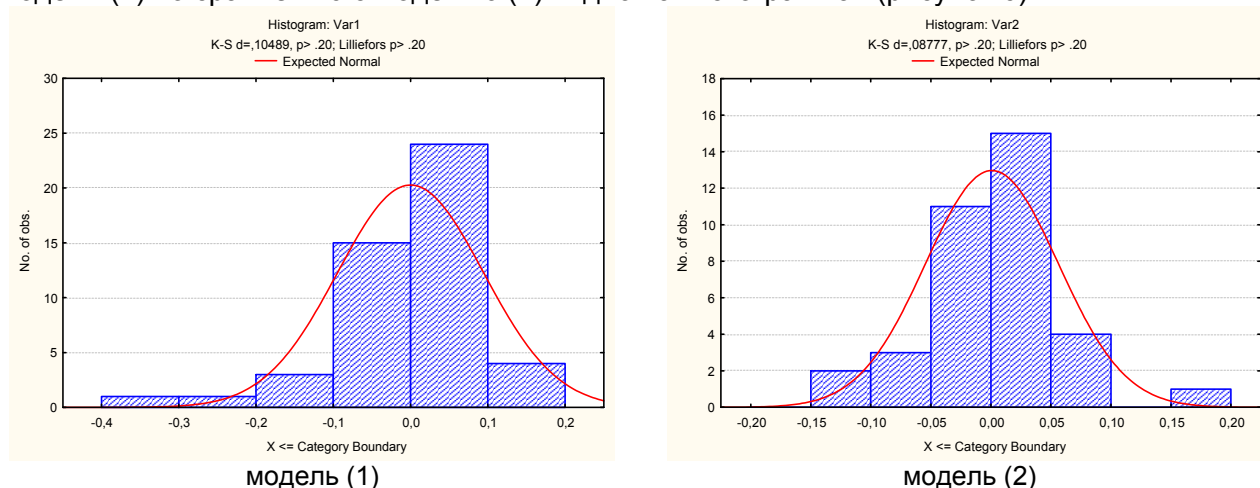


Рисунок 6 – Гистограммы остатков для моделей

Проведенный анализ дает основания для преобразования и дальнейшего моделирования финансовых показателей с годовой дискретностью в ряды с месячной дискретизацией. На рисунке 7 приведен такой «домысленный» ряд выручки от грузовых перевозок. Здесь мы имеем не 4 годовые выборочные значения, как на рисунке 1, а уже 48 по месяцам.

Как и выше, получена модель (3), дающая наилучшую аппроксимацию:

$$x_t = 0,373x_{t-1} + 0,720x_{t-12} + \varepsilon_t. \quad (3)$$

Линия модели обозначена на рисунке 7, как и ранее, пунктиром.

На рисунке 8 приведена подобная модель (4) для интервала с января 2004 г. по декабрь 2008 г. – кризисного года

$$x_t = 0,936x_{t-1} + 0,076x_{t-12} + \varepsilon_t. \quad (4)$$



Рисунок 7 – Выручка (грузовые перевозки) январь 2004 г.-декабрь 2007 г., млрд. руб.

Видно, что модель адаптируется к резкому росту показателя в начале 2008 года и к спаду с октября этого года. Но теперь вся картина процесса принципиально изменилась. Резкие подъёмы и спады изменили спектральную и автоковариационную структуру ряда. Более значимым стал параметр при переменной с задержкой 1. Он возрос с 0,373 в модели (3) до 0,936 в модели (4). Требуется время для стабилизации процесса, чтобы модель снова стала адекватной.

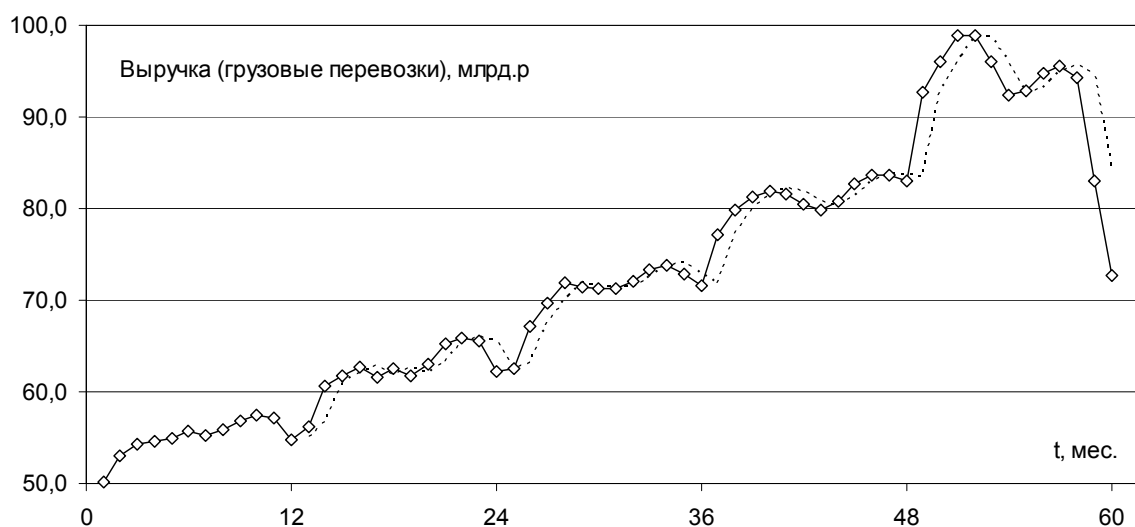


Рисунок 8 – Выручка (грузовые перевозки) январь 2004 г.-декабрь 2008 г., млрд. руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Щербаков, В.А. Оценка стоимости предприятия (бизнеса) / В.А. Щербаков, Н.А. Щербакова. -3-е изд. -М.: Омега-Л, 2009. -299 с.
- 2 Щербаков, В.А. Экономический анализ деятельности структурных подразделений железнодорожного транспорта / В.А. Щербаков // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№1. -С. 82-84.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

прогнозирование, денежные потоки, стоимостный анализ, статистические модели

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Щербаков Валерий Александрович, канд. экон. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»

Русин Георгий Леонидович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

Щербакова Наталья Александровна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»
630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

СТРАТЕГИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СИБИРИ ДО 2020 г.: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОЛИТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

М.В. Пак

THE STRATEGY OF ECONOMIC DEVELOPMENT IN SIBERIA REGION TO 2020: PRESENT DEVELOPMENT AND FUTURE PROSPECTS OF MULTITRANSPORT SYSTEM

«Siberian state transport university»

M.V. Park

Present development and future prospects of multitransport system in Siberia region are considered.

Keywords: multitransport system, transport infrastructure, transportation logistics center, intra-depot logistics

Рассматривается текущее состояние политранспортной системы Сибири и дальнейшие перспективы развития.

Транспорт, как перспективная отрасль развития экономики, занимает сегодня особое место в структуре народного хозяйства Сибирского Федерального Округа (далее - СФО). На сегодняшний день через СФО проходят основные транзитные потоки России (грузоперевозки и пассажирские перевозки) из европейской части страны в азиатскую.

По данным Окружного информационного центра, доля СФО в общей протяженности:

- железных дорог России – 17,5% (2-е место);
- автомобильных дорог (общего и ведомственного пользования) России – 16,8% (3 место);
- судоходных внутренних водных путей России 29,7% (1-е место) [1].

Актуальность темы исследования обусловлена тем фактом, что посредством политранспортной системы осуществляются экспортные и импортные операции, устанавливается международное сотрудничество и формируются мирохозяйственные связи со странами мира.

Целью данной работы является анализ развития политранспортной системы Сибири посредством изучения различных стратегических программ.

Данная цель достигается путем решения следующих задач:

- изучение состояния развития политранспортной системы СФО;
- анализ перспективных направлений политранспортной системы СФО на современном этапе.

Теоретической базой исследования выступили следующие основополагающие документы: Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 г., Стратегия экономического развития Сибири до 2020 г., Стратегия социально-экономического развития Новосибирской области на период до 2025 г.

По данным Новосибирскстата, отправление грузов и пассажиров по Новосибирской области за период 2004-2008 гг. снизилось и составило на конец 2008 г. 98,8 млн. т и 599,1 млн. человек соответственно. Вместе с тем, наблюдается рост грузооборота за истекший период до 114304 млн. ткм. за счет увеличения грузооборота транспорта общего пользования и незначительный рост пассажирооборота до 24815 млн. пассажиро-км. Основные показатели работы всех видов транспорта приведены в таблице.

Стратегией социально-экономического развития Новосибирской области на период до 2025 г. предусматривается создание транспортно-логистического центра в г. Новосибирске. Он должен обеспечить координацию товаро- и пассажиродвижения через узел в интересах клиентов и перевозчиков. В тоже время, создание транспортно-логистического кластера в Новосибирской области поможет в полной мере использовать все выгоды транзитного положения Сибирского региона, приведет к более тесной интеграции с соседними округами Сибири, а также со странами ближнего и дальнего зарубежья [3].

К числу основных мероприятий в укреплении политранспортной системы Сибири, согласно стратегии экономического развития Сибири до 2020 г., относится: дальнейшее развитие Транссибирской магистрали (транспортный коридор «Транссиб»); соединение северо-восточных районов европейской части страны с Дальним Востоком посредством Северного транспортного коридора; поддержание необходимых глубин и габаритов судового хода на

эксплуатируемых участках бассейнов рек Обь, Иртыш и Енисей, а также в верховьях реки Лены; интеграция внутренних водных путей в общую транспортную систему восточных районов и России в целом, повышение технических и качественных параметров в предоставлении услуг; развитие трансконтинентальных авиамаршрутов Европа-Азия, Азия-Северная Америка [4].

Таблица – Основные показатели работы всех видов транспорта Новосибирской области [2]

Наименование показателя	2004	2005	2006	2007	2008
Отправление грузов, тыс. т, в том числе:	115710	101158	102596	105462	98767
– транспорт общего пользования	20115	25144	24773	25718	25354
– транспорт необщего пользования	95595	76014	77823	79744	73413
Грузооборот, млн. ткм, в том числе:	95969	102354	106751	112247	114304
– транспорт общего пользования	92671	97936	103085	110086	112331
– транспорт необщего пользования	3298	4418	3666	2161	1973
Отправление пассажиров, млн. человек, в том числе:	980,6	792,9	788,9	697,0	599,1
– транспорт общего пользования*	959,1	772,0	745,1	663,6	580,7
– транспорт необщего пользования	21,5	20,9	43,8	33,4	18,4
Пассажирооборот, млн. пассажиро-км, в том числе:	24502	24703	22614	23531	24815
– транспорт общего пользования*	24051	24254	22007	22835	24362
– транспорт необщего пользования	451	449	607	696	453

*-с учетом негосударственного транспорта общего пользования

Для эффективного развития транспортной инфраструктуры при перевозке массовых грузов необходимо также развитие внутрискладской логистики, которая призвана обеспечить комплекс последовательно выполняемых операций, связанных с подготовкой склада к приемке продукции, разгрузкой транспортных средств, приемкой продукции, размещением ее на хранение, организацией хранения, комплектацией заказов, подготовкой к отпуску и отгрузкой со склада.

По мнению Сергея Дьячкова, партнера по маркетингу DSO Consulting, крупнейшие компании («Левобережное», «Новосибирскснабсбыт», «Машкомплект») занимают склады, не относящиеся к складам высокого класса «А» и «В», однако дефицит складов «А» и «В» должен сократиться, поскольку в этом сегменте уже находятся крупнейшие комплексы – «Сибирский грузовой терминал» («Септима»), «Электрокомплектсервис» и весь комплекс складов «Новосибметалла». Крупные российские и зарубежные логистические операторы заинтересованы в строительстве складских площадей класса «А» в ведущих городах России – Новосибирске, Хабаровске, Иркутске, Екатеринбурге и др. С освоением складской логистики компании смогут оснащать свои терминалы дополнительными услугами, например, строительство складов для хранения замороженной и охлажденной продукции. Ярким примером являются площади «Хладокомбината».

В заключении хотелось бы отметить, что политранспортная система является «кровеносной системой» любого хозяйственного организма. Успешное функционирование и развитие хозяйства невозможно без эффективной работы различных видов транспорта. Строительство новых транспортных коридоров, модернизация существующих позволит создать «цементирующую» основу для укрепления связей между субъектами, что в свою очередь, необходимо для развития региона с геополитической точки зрения. Это также будет способствовать ослаблению, сглаживанию асимметрии территориальной структуры хозяйства в Сибири.

Несмотря на недостаточную практическую реализацию транспортных мероприятий, предусмотренных стратегиями различных регионов, которая вызвана слабым инвестиционным обеспечением и следствием мирового финансового кризиса, развитие политранспортной системы СФО является ярким показателем устойчивого развития региона, а потому требуют особого подхода на современном этапе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Официальный сайт Сибирского Федерального округа. -Режим доступа: <http://www.sibfo.ru/passport/sfo.php>
- 2 Официальный сайт территориального органа федеральной службы государственной статистики по Новосибирской области. -Режим доступа: <http://gks.novosibstat.ru>

3 Стратегия социально-экономического развития Новосибирской области на период до 2025 года // официальный сайт Администрации НСО. -Режим доступа: www.adm.nso.ru

4 Стратегия экономического развития Сибири // официальный портал федеральных органов власти Сибирского федерального округа. -Режим доступа: www.sibfo.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА *политранспортная система, транспортная инфраструктура, транспортно-логистический центр, внутрискладская логистика*

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

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

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЗАИМОРАСЧЕТОВ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ФИЛИАЛОВ ОАО «РЖД» И СОБСТВЕННИКОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕКУЩЕГО ОТЦЕПНОГО РЕМОНТА

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.П. Дементьев

ORGANIZATION OF MUTUAL SETTLEMENTS WITHIN TERRITORIAL SUBSIDIARIES OF OPEN JSC «RUSSIAN RAILWAYS» AND ROLLING STOCK PROPRIETORS UNDER MAINTENANCE UNCOUPLING REPAIR
«Siberian state transport university»

A.P. Dementiev

Increase of traffic share provided by rolling stock proprietors determines the necessity for development of cooperation mechanism between Open JSC «Russian Railways» and transport services customers including information support of this process.

Keywords: rolling stock, proprietors, freight rates, cooperation, costs, information systems

Рост доли перевозок в вагонном парке, находящемся в собственности операторов, определяет необходимость разработки механизма взаимоотношений между ОАО «РЖД» и потребителями транспортных услуг, а также информационной поддержки этих процессов.

Ключевым моментом перехода к новой модели организации железнодорожного транспорта является полное отделение функций государственного регулирования от хозяйственных функций уже на начальном этапе реформирования. Это разделение было необходимо для внедрения конкуренции в системе железнодорожного транспорта и является одним из условий обеспечения равноправного доступа независимых операторов к сетевой инфраструктуре и справедливого тарифообразования.

С образованием в 2003 году акционерного общества «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») меняются условия управления отраслью, поскольку ОАО «РЖД» постепенно теряет статус монополиста и становится таким же участником транспортного рынка, как операторы подвижного состава и другие перевозчики. Рынок железнодорожных перевозок разделен по видам деятельности компаний на сегменты: перевозчики, компании-операторы, экспедиторы, владельцы инфраструктуры. Рост доли перевозок в вагонном парке, находящемся в собственности операторов, частными и арендованными локомотивами определяет необходимость разработки механизма взаимоотношений между ОАО «РЖД» и различными потребителями транспортных услуг, а также технологии информационной поддержки этих процессов. В связи с отсутствием ранее таких видов отношений, основным фактором, тормозящим их развитие, на сегодняшний момент, является не полностью разработанная правовая и экономическая база, последняя требует проведения практических исследований и совершенствования.

В настоящее время доля груза, перевозимого в вагонах, принадлежащих собственникам, превышает 70%. В перевозочный тариф в качестве вагонной составляющей входят затраты на техническое обслуживание грузовых вагонов и подготовку их под погрузку. Все виды ремонтов оплачиваются собственниками и арендаторами отдельно. Регламент проведения всех ремонтов, кроме текущего отцепочного, строго определен и формализовать расчеты по ним не сложно. Текущий отцепочный ремонт (ТОР) выполняется в случае обнаружения неисправностей во время технического обслуживания вагонов. При отцепке частных вагонов значительное время тратится на оформление финансовой документации, а также на поиски компании, в чьей собственности находится подвижной состав. Все это приводит к

длительному простоя, снижает оборот вагона и делает перевозочный процесс менее эффективным. С увеличением количества частных вагонов эти проблемы все более актуализируются.

В ОАО «РЖД» разрабатывается проект включения в перевозочный тариф затрат на текущий отцепочный ремонт частных грузовых вагонов. [1] Это поможет существенно сократить время простоя подвижного состава в депо и решить проблему дебиторской задолженности. Внесение оплаты за ТОР в тариф поддержано крупными компаниями-операторами и согласовано с большинством железнодорожных администраций стран СНГ и Балтии. Но, по мнению экспертов, будет крайне трудно убедить правительство внести изменения в Прейскурант 10-01 ОАО «РЖД», особенно в условиях падения объемов перевозок и простоя вагонного парка.

Сокращение простоев грузовых вагонов в текущем отцепочном ремонте в сложившейся ситуации может быть осуществлено и за счет других факторов. Для решения вопросов взаимодействия с собственниками частных вагонов и ускорения прохождения документов научно-исследовательская лаборатория (НИЛ) СГУПСа «Экономика транспорта» разработала информационно-аналитическую систему «ТОР-Финанс». Эта система работает в существующем информационном пространстве ОАО «РЖД». Единое информационное пространство, обеспечивающее конкурентоспособность железнодорожной отрасли, – это общие информационные ресурсы органов управления транспортным комплексом, сервисов доступа к ним и юридически значимого электронного документооборота, а также эффективная система управления созданием и внедрением информационной системы органов управления транспортным комплексом и единой информационной среды, обеспечивающей эффективное взаимодействие ее составляющих. Пользователями отчетных форм системы, размещенных на сайте службы вагонного хозяйства являются специалисты вагонного хозяйства (руководители подразделений, специалисты финансово-экономического блока, работники участков ТОР).

Уровень достоверности исходящих форм и справок, полученных с базы системы, определяется в зависимости от полноты и качества информации о операциях, выполненных на вагоне при проведении текущего отцепочного ремонта, передаваемой ответственными работниками подразделений вагонного хозяйства (операторы, бригадиры ТОР и осмотрщики вагонов ПТО) в программные модули информационного поля дороги – база ГВЦ, АСУ СТ, АСУ ЛР, АСУ ПТО, АРМ «АСУ-ВЧД».

Нормативная база программы составлена в соответствии с нормативными документами ОАО «РЖД», которые регламентируют производство текущего отцепочного ремонта, методику составления калькуляций, ценовую политику и организацию порядка взаиморасчетов с компаниями владельцами подвижного состава, в том числе:

- типовые нормы времени на выполнение работ при текущем отцепочном ремонте;
- прейскурант стоимости работ, выполняемых в подразделениях Дирекции по ремонту грузовых вагонов;
- номенклатурный справочник запасных частей и материалов;
- тарифные ставки работников основных профессий ОАО «РЖД»;
- данные финансовой и статистической отчетности деятельности подразделений вагонного хозяйства и дороги.

ИАС «ТОР-Финанс» с сентября 2009 года находилась в пилотной эксплуатации и принята в промышленную эксплуатацию с января 2010 года на участках текущего отцепочного ремонта грузовых вагонов Западно-Сибирской железной дороги.

Результаты эксплуатации показали значительные различия в стоимости ремонтных работ. В 2009 году минимальная цена ремонта с НДС составила 10905,9 рублей, а максимальная – 41884,6 руб. Анализ производился по вагонам принадлежащим крупнейшим собственникам вагонов: ОАО «Первая грузовая компания», ООО «Голдлайн», ООО «Альфа-Лизинг», ООО «ОРГРЭЛИЗИНГ», ОАО «Трансойл», ЗАО «Евросиб СПб-транспортные системы».

Анализ системы договорных отношений между собственниками подвижного состава и ОАО «РЖД» и его территориальных филиалов показал, что абсолютное большинство договоров предусматривает оплату по фактической стоимости выполненных работ. Система «ТОР-Финанс» как раз и предполагает формирование подобной цены ремонта, причем адресно на конкретный вагон. Так же ИАС формирует все необходимые для проведения финансовых расчетов документы. Это и калькуляция и внутрифирменные обязательные акты учета неисправностей и акт выполненных работ и счет и счет-фактура.

Однако, в настоящее время один из крупнейших владельцев частных вагонов по договору с ОАО «РЖД» имеет фиксированную цену текущего отцепочного ремонта, которая значительно ниже даже минимальной цены ремонта. Размер фиксированной цены зависит от многих факторов: состояние вагона, тип вагона, срок службы вагона и колесной пары и др. Поскольку Западно-Сибирская железная дорога основной отправитель угольных маршрутов, то в зону ее ответственности попадает далеко не новый и не лучший подвижной состав, который чаще выходит из строя и требует существенных затрат на ремонт. Анализ стоимости ТОР, произведенного в первом квартале 2010 года (таблица) показал, что предприятия вагонного хозяйства дороги потеряли 4,4 млн. руб.

Таблица – Затраты и поступления от текущего отцепочного ремонта по данным ИАС «ТОР-Финанс»

Выборка за один месяц	Число вагонов в выборке	Средняя цена ТОР по данным ИАС, руб.	Стоимость по договору, тыс. руб.	Фактическая стоимость выполненного ТОР, тыс. руб.	Неоплаченные расходы, тыс. руб.
По участку ТОР 1	82	10992,57	804,24	895,89	91,65
По участку ТОР 2	267	13930,42	2631,47	3714,78	1083,31
По участку ТОР 3	557	14196,93	5494,01	7904,14	2410,13
По участку ТОР 4	125	16332,96	1233,50	2041,62	808,12
Итого:	1030				4393,22

Таким образом, можно констатировать, что внедрение ИАС «ТОР-Финанс» позволяет адресно учитывать все затраты, произведенные во время текущего отцепочного ремонта. Это является основанием либо для формирования полного пакета документов, предъявляемого собственнику вагонов при расчетах, либо для анализа фактических затрат и поступлений при фиксированной цене ремонта и может служить основанием для принятия управленческих решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Транспортный портал. –Режим доступа: <http://www.trans-ort.com.ua>

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА подвижной состав, собственники, перевозочный тариф, взаимодействие, затраты, информационные системы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Дементьев Алексей Петрович, канд. экон. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»

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

АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ ОБЪЕМА ПЕРЕВОЗОК

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.П. Дементьев, М.М. Рассказова

ANALYSIS OF THE MECHANISM OF OPERATING COSTS CHANGES IN THE RAILWAY INDUSTRY UNDER TRAFFIC VOLUME REDUCTION

«Siberian state transport university»

A.P. Dementiev, M.M. Rasskazova

Essential reduction in the volume of works makes the issue of determination of variable and constant components in total costs more topical.

Keywords: operating costs, volume of works, empirical dependences, dependent costs

Существенное падение объема работы делает еще более актуальным вопрос о выделении переменной и постоянной составляющей в общих расходах.

Железнодорожный транспорт Российской Федерации занимает ведущую роль в транспортном комплексе страны, обеспечивая решение общегосударственных задач экономического, социального и политического характера, включая экономическую безопасность государства, укрепление обороноспособности и целостности страны. Экономический кризис серьезно повлиял на показатели работы такой монополии, как Российские железные дороги.

В последнее время наблюдалось снижение грузооборота и, соответственно, доходов компании [1]. В сложившихся условиях реформирования железнодорожного транспорта, а так же, учитывая экономическую обстановку страны, перед ОАО «РЖД» стоит важнейшая задача сокращения расходов, обеспечивая при этом сохранение качества оказываемых услуг, безопасность движения, а также максимально возможное сохранение персонала.

Одним из важнейших вопросов управления затратами является выделение переменной и постоянной составляющей в общих расходах железнодорожных предприятий. Значительное изменение объема работы, происходящее в последние два года, делает еще более актуальным данное направление для целей научно-обоснованного бюджетирования затрат территориальных филиалов и структурных подразделений.

Железнодорожные расходы, находясь в зависимости от совокупностей условий работы и оснащения каждого участка, изменяются в зависимости от роста или падения объема перевозок и качественных характеристик эксплуатационной работы. По величине затрачиваемых средств и объему производства железная дорога является предприятием крупного масштаба. Поэтому изменение величины эксплуатационных расходов железных дорог, как и других крупных предприятий, подчиняется влиянию массовости производства, при которой издержки по мере роста размеров работы уменьшаются. Определение основных направлений возможного снижения расходов должно базироваться на глубоком анализе отдельных элементов и групп затрат с учетом факторов издержек, их формирующих. В связи с этим представляет научный и практический интерес исследование закономерностей изменения размера и структуры эксплуатационных расходов и себестоимости перевозок в зависимости от объема работы.

Главной задачей на современном этапе является оптимизация затрат ключевых хозяйств – путевого, локомотивного и вагонного (доля расходов этих хозяйств составляет более 60% в общей сумме). Особенно важен вопрос снижения переменных расходов и выделение контингента, зависящего от объема работ. При этом необходимо учитывать, что объем работы на железнодорожном транспорте выражают не только показателем, от которого зависят доходы – грузооборот нетто, но и размерами движения – показателями, характеризующими объем работы подвижного состава и, следовательно, расходы по перевозкам.

Многочисленными исследователями доказано, что все расходы железных дорог в той или иной мере зависят от размеров движения (соответствующих измерителей: вагоно-километров, локомотиво-километров, тонно-километров брутто и др.). Деление эксплуатационных расходов на зависящие от объема работы и независящие различается при разной продолжительности периода, за который рассматривается изменение расходов. Степень зависимости расходов тем выше, чем продолжительнее период и шире диапазон изменения объема работы. За короткий период, когда объем работы меняется незначительно, численность работников и техническая оснащенность железной дороги остаются стабильными, меняются расходы, непосредственно связанные с работой и текущим ремонтом подвижного состава. Традиционное определение переменных затрат предполагает линейную зависимость между затратами и объемом работ. Но при этом, большая часть затрат не находится в линейной зависимости от производственной мощности. Степень достоверности зависимости полученных результатов определяют с помощью коэффициента достоверности аппроксимации: чем выше аппроксимация, тем выше достоверность. При низких значениях этого показателя требуется дополнительный анализ для принятия окончательного решения по установлению доли зависящих расходов. Динамика расходов не всегда совпадает с динамикой объема работы, поэтому необходимо проводить более детальный анализ расходов по статьям и элементам затрат для установления степени зависимости расходов от объема работы. Известно, что наибольший удельный вес в величине переменных расходов составляют затраты локомотивного (67,9%) и вагонного (11,4%) хозяйств. Следовательно, в большей степени необходимость снижения расходов касается именно локомотивного хозяйства, которое при спаде перевозок находится в самом невыгодном положении. Если расходы на топливо и электроэнергию могут быть снижены пропорционально падению тонно-километровой работы, то затраты на оплату труда привести в соответствие с объемом гораздо труднее.

Анализ изменения основных объемных показателей Западно-Сибирской железной дороги (вагоно-километры, рабочий парк вагонов, локомотиво-километры в грузовом движении, количество погруженных вагонов, тонно-километры брутто) за последние два года показал, что их динамика близка к изменению главного доходообразующего измерителя – гру-

зоооборота нетто.

Сопоставляя изменение объема и соответствующих расходов можно сделать следующий вывод – основные несоответствия наблюдаются в вагонном и локомотивном хозяйствах – так грузооборот нетто и вагоно-километры снизились на 18,3% и 21,5% соответственно, а расходы вагонного хозяйства увеличились на 11%, локомотивного снизились на 9%.

Несколько иная ситуация сложилась в хозяйстве пути, за счет которого в основном и оптимизируют расходы. При снижении грузооборота нетто на 18,3%, расходы путевого хозяйства снизились на 28%. Считается, что расходы хозяйства пути мало зависят от объема работы. Но изменение расходов на текущее содержание пути отражаются в финансовых результатах в перспективном периоде, так как затраты не совпадают с процессом износа. Однако, в путевом хозяйстве сосредоточен значительный контингент, за счет которого и происходит сокращение затрат. Для снижения расходов на оплату труда меняется режим работы, осуществляется переход на четырехдневную рабочую неделю. Это позволяет на данном этапе снизить социальную напряженность и сохранить квалифицированный персонал для освоения будущих объемов перевозок. Тем более, если рассматривать динамику объема работы последнего полугодия (2009 г. и начало 2010 г.), наблюдается поступательный ежеквартальный рост – на 4-5% (Западно-Сибирская ж.д.), однако уровень 2008 года еще не достигнут.

Проблема сокращения затрат на предприятиях железнодорожного транспорта и в ближайшее время будет актуальна. Однако, необходим более детальный подход к возможности оптимизации затрат по отдельным хозяйствам, статьям и элементам.

Авторами на основании данных о расходах и объемах работы Западно-Сибирской железной дороги за последний период была предпринята попытка установить степень зависимости отдельных статей и элементов затрат от объема работы и сравнить полученные результаты с долями зависящих расходов, принятыми в транспортно-экономической литературе и документах ОАО «РЖД» [2]. Особое внимание было уделено расходам, связанным с содержанием инфраструктуры, так как именно за счет них, как показал анализ, и проводилась оптимизация затрат.

Полученные результаты позволяют отметить, что в сложившейся ситуации динамика затрат далеко не всегда совпадает с динамикой объема работы. Было выявлено, что общий разброс расходов в соответствии с измерителями объема работы для большинства статей получился достаточно большим, что не дает возможности применить эмпирические функции, описывающие поведение затрат. Для расходов связанных с инфраструктурой наблюдается во многих случаях картина, когда при увеличении объема затраты снижаются. Там, где корреляционно-регрессионный анализ дал положительные результаты, наблюдается во многом прогрессивное поведение затрат – они растут значительно быстрее объема работы. Например, для расходов, связанных с капитальными видами ремонта верхнего строения пути в части материальных затрат наблюдается достаточно достоверная зависимость, еще теснее связь для фонда оплаты труда, принимая которые можно говорить о том, что расходы являются полностью зависящими от объема работы (на самом деле они растут быстрее – в 3 и 9 раз соответственно), хотя в транспортно-экономической литературе только 60% затрат считаются переменными.

Полученные результаты могут быть объяснены тем, что не всегда квартальные расходы являются презентативными для анализа. Это вызвано особенностями технологического процесса работы отдельных предприятий и, связанных с этим, особенностей в учете расходов. С другой стороны, происходящий спад объема работы, приводит к нарушению нормальных закономерностей поведения расходов, так как на управление издержками оказывают значительное влияние административные решения компании, по оптимизации затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Смехова, Н.Г. Себестоимость железнодорожных перевозок / Н.Г. Смехова. -М., 2003.
- 2 Определение зависящих расходов для тарифных целей / А.В. Шмелев, П.Б. Маневич, Н.И. Данченко // Экономика железных дорог. -2009. -№12. -С. 27-35.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА эксплуатационные расходы, объем работы, эмпирические зависимости, зависящие расходы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дементьев Алексей Петрович, канд. экон. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»
Рассказова Маргарита Михайловна, преподаватель ГОУ ВПО «СГУПС»

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОАО «ЕНИСЕЙСКОЕ РЕЧНОЕ ПАРОХОДСТВО»

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.В. Симонов

IMPROVING LOGISTICS SYSTEM OF «YENISEY RIVER SHIPPING COMPANY»
«Novosibirsk state academy of water transport»
A.V. Simonov

Possible ways of increasing the competitiveness of services of «Yenisei River Shipping Company» with the use of modern logistics technologies.

Keywords: competitiveness of transport services, logistics, river fleet

Рассмотрены возможные направления повышения конкурентоспособности услуг ОАО «Енисейское речное пароходство» с учетом использования современных логистических технологий.

В связи с наступившими в 2008 г. кризисными условиями хозяйствования ряд крупных инвестиционных проектов по освоению нефтегазовых месторождений севера Красноярского края, а также программа развития Нижнего Приангарья, которые обеспечивали существенные объемы перевозок ОАО «ЕРП», значительно сокращены. Это обуславливает снижение грузооборота ОАО «ЕРП» в 2009 и, возможно, в последующие годы.

Поэтому основной задачей пароходства является сохранение достигнутых объемов перевозок, обеспечение лидирующей позиции на рынке грузоперевозок речным транспортом на Енисее.

Для этого необходимо совместить работу с текущей грузовой базой и разумно жёсткий подход при привлечении новых грузопотоков с применением гибкой тарифной политики.

ОАО «ЕРП» намерено повышать эффективность использования флота, оптимально использовать причалы, гидросооружения, территории и акватории, а также производственные мощности береговых предприятий за счет стратегических мероприятий по внедрению современных логистических и информационных технологий, совершенствования системы управления материальными потоками [1].

В рамках совершенствования действующей системы логистики ОАО «ЕРП» можно выделить три направления:

- повышение логистического сервиса;
- развитие долгосрочных отношений с крупными заказчиками путем управления цепочками поставок;
- совершенствование управления материальными потоками и флотом за счет использования специализированных информационных систем в логистике.

Эти три направления наиболее полно отвечают требованиям к современному уровню управления логистикой на предприятиях, осуществляющих грузовые перевозки, они тесно взаимосвязаны между собой, поэтому образуют единую логистическую модель ОАО «ЕРП». Логистическая модель ОАО «ЕРП» должна преследовать стратегическую цель – улучшение качества транспортно-логистического сервиса.

Основной функцией логистической модели является формирование нового подхода к управлению движением материальными потоками компании на основе подхода к логистике, который будет отвечать современным требованиям. Более наглядно логистическая модель представлена на рисунке.

Задачами функционирования логистической модели является:

- улучшение качества выполнения логистических операций и функций (транспортировки, складирования, хранения, контроля и др.);
- создание системы управления качеством логистического сервиса;
- сертификация фирменной системы управления качеством в соответствии с национальными и международными стандартами и процедурами (в частности ISO 9000).

Центральным моментом в обеспечении условий реализации логистической модели может стать возможность внедрения в деятельность компании современных логистических технологий управления.

Для решения логистической модели произведем разработку трех основных направле-

ний совершенствования качества транспортно-логистического сервиса.

Первым направлением решения логистической модели является «Повышение качества логистического сервиса».

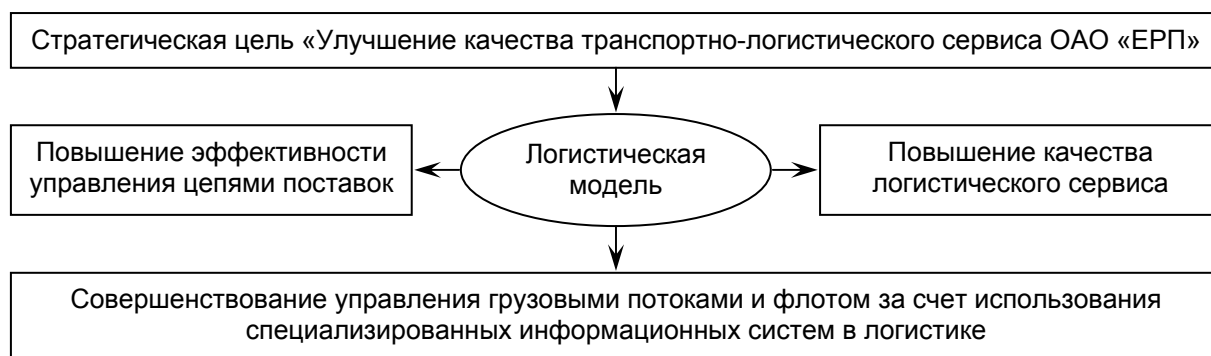


Рисунок – Логистическая модель повышения конкурентоспособности ОАО «ЕРП»

В условиях постоянно растущей конкуренции на рынке транспортно-логистических услуг в России повышается уровень требований клиентов и любая компания, ориентированная на их качественное обслуживание, должна динамично развиваться.

Клиента становится всё труднее удивить ассортиментом и ценой предлагаемых услуг, он все более обращает внимание на такие показатели качества обслуживания, как сроки доставки, информационное сопровождение процесса перевозки, сохранность груза.

В современных условиях достичь успеха можно лишь предоставлением услуг высокого качества и для того, чтобы лидировать на рынке транспортно-логистических услуг, нужно сделать заботу о клиенте основой функционирования ОАО «ЕРП». Необходимыми условиями для этого являются разработка и внедрение стандартов и процедур, направленных на совершенствование работы с клиентом, осознание персоналом важности клиенто-ориентированного подхода, обучение персонала тому, как достичь высокого качества обслуживания клиентов.

При сервисно-ориентированной экономике клиент будет ожидать, что перевозчик не только сократит время простоя, но и расширит сеть доставки, проинформирует о движении груза и так далее. Для решения всех возможных вариантов и повышения качества логистического сервиса ОАО «ЕРП» необходимо разработать клиенто-ориентированную стратегию.

Вторым направлением решения логистической модели является «Повышение эффективности управления цепями поставок» ОАО «ЕРП».

Современная логистика ОАО «ЕРП» основана на интеграции, которая осуществляется не только в рамках одной транспортной артерии, но и за ее пределами в масштабах максимальной цепи поставок, и предусматривает установление партнерских отношений с поставщиками разных уровней, провайдерами логистических услуг и с конечными потребителями.

Основной задачей ОАО «ЕРП» является интеграция всех звеньев цепи поставок, основанная на взаимодействии и взаимовыгодном сотрудничестве с поставщиками и потребителями транспортных услуг.

Совершенствование регулирования логистических процессов, обеспечит рационализацию управленческих решений в области повышения эффективности их ресурсного обеспечения, что создаст объективные предпосылки для повышения конкурентоспособности ОАО «ЕРП», адаптированной к инновационным и интеграционным процессам.

Третьим направлением решения логистической модели является «Совершенствование управления грузовыми потоками и флотом за счет использования специализированных информационных систем в логистике».

Одним из инновационных подходов к совершенствованию логистических процессов с использованием специализированных систем в логистике является внедрение технологий спутниковой навигации.

Высоким требованиям современных технологий, применяемых для управления речным транспортом, по точности и оперативности получения данных отвечают только методы, основанные на использовании спутниковых навигационных систем.

Высокая степень автоматизации спутниковых технологий основана на применении радиоэлектронной и вычислительной техники. Определение координат объектов различных

классов с помощью спутниковых геодезических технологий позволит отказаться от традиционных трудоемких технологий.

Внедрение системы на базе ОАО «ЕРП» даст: во-первых, формирование информационных ресурсов для обеспечения управленческих решений в области перевозок в инфраструктуре региона; во-вторых, повышение экономических показателей эффективности хозяйственной деятельности ОАО «ЕРП», снижение риска негативного воздействия факторов террористического, техногенного и природного характера на население и экономику региона. Кроме того, это будет дополнительным стимулом для процесса формирования единого информационного пространства всего предприятия и региона.

Область применения системы не ограничивается речным транспортом ОАО «ЕРП». Система может использоваться для мониторинга, управления и обеспечения безопасности перевозок железнодорожным и другими видами транспорта, в случае если производится комплексная доставка.

Таким образом, внедрение использования спутниковых систем позволит ОАО «ЕРП» перейти на новый более качественный уровень управления флотом и обеспечит повышение эффективности логистических процессов.

Подводя итог, можно сказать, что внедрение инноваций в управление транспортным комплексом за счет использования систем навигации, создания интеллектуальных транспортных систем, перехода к современным информационным технологиям управления перевозочно-логистическими процессами является необходимым условием для достижения цели инновационного развития транспортного комплекса не только ОАО «ЕРП», но и Российской Федерации в целом [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Годовой отчет Открытого акционерного общества «Енисейское речное пароходство» по итогам работы за 2008 год. -Режим доступа: <http://www.e-river.ru/documents/YRS-AnnualReport2008.doc>.

2 Об основных итогах социально-экономического развития транспортного комплекса в 2009 году и задачах на 2010 и среднесрочную перспективу до 2012 года (информационно-аналитический обзор)/Министерство транспорта РФ // Материалы к расширенному заседанию коллегии Минтранса России. -М., 2010, -196 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конкурентоспособность транспортных услуг, логистика, речной флот

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Симонов Александр Владимирович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАСУ»

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

ТРАНСПОРТНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ КАК ОСНОВА ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Н.Б. Попова, М.С. Чикинова

TRANSPORT INFRASTRUCTURE OF THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA AS THE BASE OF SPATIAL PLANNING AND MANAGEMENT

«Siberian state transport university»

N.B. Popova, M.S. Chikina

The questions of modern and perspective transport maintenance of territory of the south of Western Siberia are considered in the article. Ecological conditionality and safety with allocation of a perspective infrastructural frame in schemes of territorial planning are taken into account. The authors found the necessity of realization of transport potential of territories as management tool of spatial development and a way of realization of competitive advantages of territories.

Keywords: transport infrastructure, spatial planning, man-caused pollution, schemes of territorial planning, spatial development

Рассмотрены вопросы современного и перспективного транспортного обеспечения территории юга Западной Сибири с учетом экологической обусловленности и безопасности с выделением перспективного инфраструктурного каркаса в схемах территориального планирования территории. Формируется представление о необходимости реализации транспортного потенциала территорий как инструмента управления пространственным развитием региона и способа реализации конкурентных

преимуществ территорий.

Управленческие возможности государства и его отдельных субъектов (федеральных округов, краев, областей и т.д.) во многом зависят от инфраструктурной обеспеченности территории и, в первую очередь, от её транспортной составляющей. Инфраструктура имеет большое значение для регионального развития: «в идеальной модели рыночной экономики государство ... управляет региональным развитием, прежде всего, путем строительства дорог и других объектов инфраструктуры» [4].

Южная зона Западной Сибири в настоящее время представляет собой пример несоответствия потенциальных возможностей территории, обусловленных выгоднейшим экономико-географическим положением, высоким природно-ресурсным и промышленным потенциалом, существующему весьма низкому уровню транспортной обеспеченности и недостаточного развития тыловой, терминальной и складской инфраструктуры.

Текущее состояние транспортной освоенности южной зоны Западной Сибири приводится в таблице 1.

Таблица 1 – Транспортная освоенность субъектов юга Западной Сибири

Субъекты РФ	Протяженность путей сообщения, км			Освоенная территория, км ²	Число населенных пунктов*	Коэффициент Гольца
	ж/д	авто	всего			
Республика Алтай	–	2973	2973	92 900	93	1,01
Алтайский край	1584	19727	21311	168 000	742	1,91
Кемеровская область	1685	10224	11909	95 700	278	2,31
Новосибирская область	1510	13581	15091	177 800	460	1,67
Омская область	752	11096	11848	141 100	392	1,59
Томская область	346	6236	6582	314 400	124	1,05

*-включая города, поселки городского типа и сельские администрации

$$k_r = \frac{L}{\sqrt{S_o N}},$$

где k_r – коэффициент Гольца;

L – протяженность путей сообщения, км;

S_o – освоенная территория, км²;

N – число населенных пунктов, ед.

Расчеты показывают, что субъекты южной зоны Западной Сибири, за исключением Кемеровской области, имеют невысокий показатель густоты транспортных путей. Недостаточное развитие транспортных путей становится еще более очевидным, если сопоставить транспортную обеспеченность региона с некоторыми субъектами европейской территории России, выполняющими сходные социально-экономические функции: в Ростовской, Нижегородской, Ленинградской областях этот показатель составляет 1,83; 2,13; 2,87 соответственно.

К тому же практически все территории юга Западной Сибири имеют одни из самых высоких показателей объемов перевозимых грузов. В этих условиях неразвитость транспортно-логистической системы выступает явным сдерживающим фактором при растущем спросе на грузовые перевозки. Таким образом, строительство дорог и других объектов инфраструктуры не только отвечает задаче предоставления транспортных услуг производителям и потребителям общественного продукта, но и определяет меру участия государства в региональном развитии и управлении.

Очевиден и тот факт, что необходимость наращивания инфраструктурного потенциала неизбежно влечет за собой увеличение техногенной нагрузки на экосистемы территории. Известно, что производство электроэнергии, транспорт и связь занимают ведущее место по объемам выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Согласно принципам сбалансированного, инфраструктурное освоение территории и техногенная нагрузка на окружающую природную среду не должны превышать восстановительного потенциала экосистем, то есть экологической техноемкости территории.

Сопоставление фактических выбросов загрязняющих веществ с экологической техноемкостью приземных слоев атмосферы, выполненное по расчетно-аналитическим зависимостям [1, 3] приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Фактическая техногенная нагрузка от выбросов в атмосферу загрязняющих веществ (M_1) и экологическая техноемкость приземных слоев атмосферы (T_1)

Субъект РФ	M_1 , тыс. т	T_1 , тыс. усл. т/год	$(M_1/T_1)100\%$
Республика Алтай	11,5	735,6	1,56335
Алтайский край	215	1043,28	20,60808
Кемеровская область	1453,8	722,1	201,3295
Новосибирская область	207,4	779,7	26,59997
Омская область	197,6	695,52	28,4104
Томская область	319,7	1037,76	30,80674

Расчеты показывают, что в настоящее время, экологическая техноемкость (T_1) субъектов региона варьирует от 695,52 тыс. усл. т/год в Омской области до 1043,28 тыс. усл. т/год в Алтайском крае, что обусловлено комплексом природно-климатических факторов.

Сопоставление выбросов наиболее распространенных загрязняющих атмосферу веществ (M_1) с экологической техноемкостью приземных слоев атмосферы показало, что фактическая техногенная нагрузка в целом по региону составляет 20-30% экологической техноемкости этого природного «резервуара». Другими словами, современное функционирование инфраструктурных отраслей по региону в целом является экологически безопасным. Исключением является Кемеровская область, в которой загрязнение атмосферного воздуха превышает показатель удельной экологической техноемкости территории.

Следовательно, при территориальном планировании инфраструктурной обустроенности юга Западной Сибири величины возможных техногенных нагрузок на природные резервуары территорий региона необходимо дифференцировать.

Учитывая вышеизложенное, основой транспортного каркаса южной зоны Западной Сибири могли бы стать планировочные оси различного порядка.

Оси первого порядка – международные транспортные коридоры, из которых мы выделяем существующие – Транссибирский транспортный коридор – «Восток-Запад», и перспективные – Северо-Сибирская железная дорога и предлагаемые к продлению на север транспортные магистрали, связывающие Полярный север с Казахстаном и выходом в Китай.

Оси второго порядка в инфраструктурном каркасе - это межрегиональные транспортные магистрали. В качестве перспективных направлений развития межрегиональной транспортной инфраструктуры нами выделена автодорога в северной части Омской и Томской областей – это транспортное направление, проходящее через Каргасок-Тару-Седельниково, меридиональная связь с юга на север – Тара, Омск с выходом на Астану.

Приоритетным направлением является завершение строительства автодороги Горно-Алтайск-Турочак-Таштагол-Абакан, строительство коридоров – грузовых дублеров Транссибирской железнодорожной магистрали, железнодорожное соединение Бийск-Горно-Алтайск и др.

Интеграция транспортных путей юга Западной Сибири в систему международных транспортных коридоров является одной из стратегических задач развития данной территории. Важным геополитическим и геоэкономическим фактором является «обеспечение транспортной независимости – наличие собственных, неконтролируемых другими странами выходов в мировую хозяйственную систему, и возможность предоставления транспортных транзитных услуг» [2].

В этой связи большое значение приобретают проекты строительства международных транспортных коридоров через территорию юга Западной Сибири. Создание и развитие инфраструктуры, в том числе терминально-складского хозяйства, для обеспечения функционирования международных транспортных коридоров «Восток-Запад» и «Север-Юг» является приоритетной задачей для развития территории юга Западной Сибири. Перспективным направлением развития территории является интеграция в систему международных транспортных коридоров, активизация торгово-экономических связей территории со странами Средней и Юго-Восточной Азии.

Таким образом, транспортная инфраструктура выступает основой территориального планирования и будущего развития территории. Соизмерение параметров хозяйственной деятельности, в том числе транспортного обустройства с экологическими характеристиками территории, позволяет не только учесть влияние инфраструктурного фактора на дифференциацию социально-экономического развития субъектов региона, но и обосновать необходи-

мость реализации инфраструктурного потенциала как инструмента управления пространственным развитием территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Акимова, Т.А. Основы экоразвития / Т.А. Акимова, В.В. Хаскин. -М.: Изд-во Рос. экон. акад., 1994. -312 с.

2 Бандман, М.К. Транспортный комплекс Азиатской России. Укрепление экономической безопасности / М.К. Бандман, В.Ю. Малов // Современные проблемы географии и природопользования / ИЭ и ООП СО РАН. -Барнаул, 2001. -Вып.5/6. -С. 100-114.

3 Попова, Н.Б. Эколого-географические условия природопользования в зоне влияния Транссибирской магистрали (Западная Сибирь) / Н.Б. Попова. -Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. ун-та путей сообщения, 2001. -182 с.

4 Пчелинцев, О.С. Региональная экономика в системе устойчивого развития / О.С. Пчелинцев. -М.: Наука, 2004. -258 с.

5 Российский статистический ежегодник. 2008: стат. сб. /Росстат. -М., 2008.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА *транспортная инфраструктура, территориальное планирование, техногенное воздействие, схемы территориального планирования, пространственное развитие*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Попова Наталья Борисовна, докт. геогр. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»
Чикинова Марина Сергеевна, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»*

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ТАРУ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.М. Островский, Е.М. Кучкина

THE INVESTIGATION OF DYNAMIC LOADS ON THE PACKAGE UNDER HAZARDOUS FREIGHT TRANSPORTATION

«Siberian state transport university»

A.M. Ostrovskiy, E.M. Kuchkina

Dynamic loads on the freight car and package under transportation have been investigated. The results of freight model testing have been presented. Dynamic loads on package developed under hazardous freight railway transportation have been calculated.

Keywords: transportation, freight car, dynamic loads, package, hazardous freight

Исследованы динамические нагрузки на вагон и тару в процессе транспортировки опасных грузов. Даны результаты испытаний макета, имитирующего груз в процессе перевозки. Рассчитаны возникающие динамические нагрузки на тару и упаковку опасных грузов при перевозке железнодорожным транспортом.

Механизм действия динамических сил на вагон с грузом в процессе движения.

Опасные грузы должны предъявляться к перевозке в таре и упаковке, предусмотренной стандартом или техническими условиями на данную продукцию.

Тара и упаковка предназначены, прежде всего, для снижения динамических нагрузок на груз в процессе перевозки. Они должны быть прочными, исправными, полностью исключать утечку и просыпание груза, обеспечивать его сохранность и безопасность перевозок. Главным условием при производстве тары и упаковки для опасных грузов является инертность материала, используемого для их изготовления, по отношению к содержимому. Обеспечение безопасности перевозки опасных грузов связано с уменьшением динамических нагрузок, которые зависят от многих факторов, возникающих при доставке груза от отправителя до получателя.

Максимальные уровни динамических сил, действующих на первый и второй по ходу движения пятники локомотива и вагона одинаковы только при условии, когда полубаза экипажа является гирационным радиусом инерции. Это условие выполняется для полностью загруженных вагонов, что и осуществляется при проектировании экипажей. При этом максимальные значения динамических прогибов рессорных комплектов, определенных суммированием отдельных видов колебаний, также равнозначны.

В этом случае динамические силы, действующие на колесные пары, являются максимальными, а максимальные значения этих сил по пятникам вагона равны, что является достаточным фактором для обеспечения безопасности движения, и риск опасной ситуации отсутствует. При уменьшении загруженности вагона, в том числе до порожнего состояния, условия равенства уже не выполняются. Наступает синфазность колебаний, и максимальные уровни динамических сил, действующих на передние и задние колеса, начинают различаться, что и может привести к нарушениям безопасности движения.

Исследованиями установлено, что при скорости 27,7 м/с разница в уровнях динамических сил достигает более 18 т, при полностью загруженном вагоне с массой кузова 75 т, но при приведенной массе, большей массы кузова вагона в 1,5 раза, величина динамической силы, приходящейся на второй пятник больше, чем на первый, в 2,5-3,0 раза. Вертикальная нагрузка, приходящаяся на второй по ходу вагона пятник при действии разгружающей динамической силы, составит только около 11 т, то есть существенно уменьшится [1].

Значительно усложняется процесс синфазности колебаний при дальнейшем снижении загруженности вагона, вплоть до порожнего состояния, когда уровень статических сил существенно уменьшается. При массе кузова порожнего вагона, равной 15 т, и скоростях движения 22,2 и 27,7 м/с разница в силах, действующих на пятники вагона, соответственно достигает 3,29 т и 2,15 т, а коэффициенты динамики 0,97 и 0,94. В этих условиях при учете знакопеременности действия динамических сил движение вагона в порожнем состоянии становится небезопасным.

При малой статической нагрузке для порожнего вагона и возникновении при синфазно-

сти колебаний больших значений динамических сил, приводящих при разгрузке к существенному уменьшению вертикальных сил, обезгрузке колес, создаются условия для потери устойчивости движения колесных пар, к сходу колес. Высокий уровень динамических сил для порожнего вагона, возникающий при синфазности колебаний, приводит к значительным величинам коэффициентов динамической добавки, что при обратном знаке коэффициента динамики существенно обезгруживает колесные пары вагонов.

Системы защиты от вибрации. В настоящее время к виброзащитным системам предъявляются следующие требования [2]:

- они должны быть нелинейными, обладать минимальной величиной жесткости в зоне рабочих прогибов подвески, с возрастающим ее значением при увеличении прогибов;
- иметь небольшие размеры и массу;
- обладать стабильностью вибрационных свойств, простотой изготовления, надежностью в эксплуатации и низкой стоимостью;
- упругие и демпфирующие характеристики не должны существенно зависеть от изменений окружающей среды.

Традиционные способы и средства виброзащиты подвижного состава (винтовая пружина, листовая рессора и их комбинации) обладают рядом положительных свойств, но не могут практически реализовать возросшие к ним требования по обеспечению минимальной жесткости в зоне, близкой к статическому прогибу, так как это ведет к значительному возрастанию габаритов подвески.

Существует два вида виброзащитных систем: пассивные и активные. Виброзащита на основе пассивных средств имеет три возможных направления:

- снижение активности виброисточника (реконструкция и строительство железнодорожного полотна, отвечающего современным требованиям);
- виброгашение (использование высокоэффективных гасителей колебаний, демпферов, амортизаторов);
- виброизоляция (применение принципиально новых упругих элементов, способов виброзащиты, схем подвешивания).

Средствами пассивной виброзащиты нельзя полностью стабилизировать динамические процессы в широком диапазоне частот. В отличие от них активные системы потребляют внешнюю энергию.

Поэтому проблема внедрения современного устройства гашения вибрационных колебаний, действующих на вагон в процессе транспортировки опасных грузов, является актуальной и требующей немедленного решения. Предлагаемый рядом сибирских ученых способ виброзащиты занимает промежуточное положение между пассивными и активными системами, сохраняя их основные положительные свойства. Физический смысл состоит в том, что при возрастании нагрузки до некоторого критического значения в них происходит потеря устойчивости и «перескок» системы в другое устойчивое равновесие. Если к такой системе подсоединить линейный упругий элемент, то совместная работа пружин подвески и устройства с «перескоком» позволяет получить зону пониженной жесткости для всего подвешивания.

Подобная работа была проведена на базе Сибирского государственного университета путей сообщения. Результатом является разработка устройства гашения вибрационных колебаний – «упругого модуля».

Основным элементом модуля является балка, несущая полезную нагрузку и выполненная заодно с опорной рамкой. Последняя закреплена в корпусе виброизолятора с помощью опор так, что длина ее осевой линии больше расстояния между крайними опорами на заданную величину. Кривизна балки меньше, и это обеспечивает в ней распорное усилие сжатия, равное усилию растяжения в рамке. За счет осевой силы достигается снижение жесткости балки до нуля, и в область отрицательных величин, причем ее жесткость по желанию может плавно изменяться в реальном времени посредством перемещения одной из опор. Эффективность работы модуль-пружинных подвесов проверена экспериментально в конструкциях виброзащитных платформ.

Важнейшим качеством, определяющим эффект виброзащиты, является то, что при уменьшении жесткости, особенно в области околонулевых ее значений, резко возрастает демпфирующая способность модуля, то есть способность ограничивать амплитуды резонансов и успокаивать колебания систем после возбуждения (с декрементом в десятки процентов). Отмеченное качество модуля позволяет избежать в конструкциях подвесов приме-

нения специальных демпферов вообще, либо существенно снизить их мощность, что удешевляет защитные устройства, повышает их надежность и эффективность в работе.

«Аномальное» демпфирование в модуле требует отказаться от обычно применяемых теоретических моделей с вязким и сухим трением. Создан метод идентификации упругих и демпфирующих характеристик модулей одновременно, использующий экспериментальные данные опыта свободных колебаний (амплитуда, время). Такой опыт проводится на натурном или макетном образце модуля. Эти характеристики вычисляются на ЭВМ в виде коэффициентов степенных полиномов и обеспечивают хорошее приближение моделируемых процессов к истинным. Так рассчитываются амплитудно-частотные и другие характеристики объектов виброзащиты.

Помимо характеристик упругих элементов виброзащиты важное значение имеет конфигурация объекта, геометрия всей системы, взаимное расположение масс и виброизоляторов. Возможность проектирования малогабаритных виброизоляторов с любой жесткостью позволяет создать целесообразный спектр собственных частот объекта, сделать их разными и независимыми. Тем самым можно сгруппировать резонансы объектов в узком диапазоне частот и разместить его в наименее вероятной или неопасной области возмущающих нагрузок. Все это упрощает расчеты и повышает их надежность, позволяет устранить опасные резонансные режимы, снизить амплитуды вынужденных колебаний объектов в общем случае.

Наконец, при необходимости исключить возможность резонансных режимов защищаемых объектов во всем диапазоне скоростей движения транспорта вводится управление жесткостью упругих элементов (как упомянуто выше), устраняющее совпадение резонансов транспортных систем и частот опасных возмущающих сил.

Испытание макета проводилось при установке его на полу пассажирского вагона-лаборатории, в средней его части, свободно, без крепления. При этом каких-либо перемещений макета или относительных его колебаний не замечено. Колебания измерялись вибродатчиками, установленными по трем осям, X, Y, Z, на массе груза и рядом, на полу вагона. Измерения проводились при скорости поезда 5-10 км/ч, 30-40 км/ч, более 60 км/ч. Предварительные итоги наблюдений можно охарактеризовать следующим.

Колебания вагона (здесь и ниже речь идет о колебаниях пола вагона в месте установки макета) не стационарны и соизмеримы по всем направлениям. Основная их составляющая – низкой частоты, 1,0-1,5 Гц, результат, очевидно, свободных колебаний вагона, которые возбуждаются при всех скоростях движения ударами колес на стыках рельс, неровностями пути и др. Примерно такие же колебания (по частоте и амплитуде) наблюдаются и у груза. При резком ударном возбуждении колебаний вагона и максимальной скорости движения замечены его колебания с частотой 7-12 Гц, у груза такие колебания (то есть повышенной частоты) не наблюдаются. При скорости движения 5-10 км/ч, когда вагон сильно раскачивается по вертикали, случаются редкие, но резкие удары, которые похожи на «пробой» упругой подвески вагона, или удар подрессоренной части вагона об ограничитель. Один такой момент зафиксирован, сигнал вибродатчика пола «вышел» за пределы поля записи, на грузе же усиления колебаний не произошло.

Аналогичные «пробои» зафиксированы и при скоростях движения 60-90 км/ч. В этих случаях на полу вагона также наблюдались колебания с частотой 7-12 Гц, но на грузе колебания повышенной частоты в пределах чувствительности аппаратуры не наблюдаются. Здесь же видно ограничение пиковых значений вибрации, ориентировочный коэффициент передачи которых составляет не более 0,1.

Очень важно то, что величина рабочего хода упругой подвески наката оказалась не достаточной, из-за чего нередко наблюдается ее «пробой», или перемещение до упора. Это сопровождается дополнительным раскачиванием груза, увеличением его виброперегрузки.

Актуальной проблемой железнодорожного транспорта является техническое состояние его грузового парка. Например, в типовой конструкции тележки вагонов ЦНИИ-ХЗ-О не предусмотрена регулировка жесткости подвески при изменении груза вагонов, поэтому, как показывают исследования, при движении состава с порожними вагонами возникает опасность отрыва колеса от рельса.

В Омском государственном университете путей сообщения была создана конструкция, дополняющая подвеску грузового вагона, с использованием виброзащитных устройств со знакопеременной упругостью для вагонов, обращающихся по кольцевой схеме, при перевозке жидких и сыпучих грузов [2]. Эффективность виброзащиты обеспечивается совместной

работой типового рессорного подвешивания с линейной жесткостной характеристикой упругих элементов (винтовых пружин) и предлагаемого устройства с нелинейной силовой характеристикой. Конструкция устройства не требует ручной регулировки под изменившуюся массу груза и позволяет обеспечить эффективную виброзащиту грузового вагона в двух режимах эксплуатации (груженный, порожний).

Допускаемые динамические нагрузки на тару и упаковку опасных грузов при перевозке железнодорожным транспортом. Согласно нормативным требованиям Технических условий размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах нагрузочная способность тары и упаковки при штабелированном размещении грузов в вагоне или контейнере должна соответствовать следующим условиям [3]:

$$P_{\text{в}} = 14,7(n_{\text{в}} - 1)m_{\text{эм}} \leq [P_{\text{в}}]; \quad (1)$$

$$P_{\text{пр}} = 10,0(n_{\text{пр}} - 1)m_{\text{эм}} \leq [P_{\text{пр}}]; \quad (2)$$

$$P_{\text{п}} = 4,9(n_{\text{п}} - 1)m_{\text{эм}} \leq [P_{\text{п}}], \quad (3)$$

где $P_{\text{в}}, P_{\text{пр}}, P_{\text{п}}$ – наибольшая нагрузка, действующая на тару одного грузового места, соответственно, по высоте в одном вертикальном ряду, по длине вагона в одном продольном ряду, по ширине вагона в одном поперечном ряду, Н;

$m_{\text{эм}}$ – масса одного грузового места, кг;

$n_{\text{в}}, n_{\text{пр}}, n_{\text{п}}$ – число грузовых мест, располагаемых в вагоне в одном, соответственно, вертикальном, продольном и поперечном направлении вагона.

Зная значения допускаемых нагрузок на тару одного грузового места, можно определить допускаемое число грузовых мест соответствующих рядов в закрепляемом штабеле [3]:

$$n_{\text{в}} = \frac{[P_{\text{в}}]}{14,7m_{\text{эм}}} + 1; \quad (4)$$

$$n_{\text{пр}} = \frac{[P_{\text{пр}}]}{14,7m_{\text{эм}}} + 1; \quad (5)$$

$$n_{\text{п}} = \frac{[P_{\text{п}}]}{14,7m_{\text{эм}}} + 1. \quad (6)$$

Разработку рациональных способов размещения и крепления тарно-штучных штабелируемых грузов в вагонах и контейнерах следует выполнять в соответствии с формулами (4)–(6), для чего необходимо знать не только геометрические параметры и массу каждого грузового места, но и допускаемые нагрузки $[P_i]$ на его тару в вертикальном, продольном и поперечном направлениях относительно вагона.

Основные требования к условиям испытаний транспортной тары и упаковки, в зависимости от группы упаковки, должны быть не ниже приведенных в таблице.

Таблица – Основные требования к условиям испытания механической прочности транспортной тары и упаковки

Наименование показателя	Значение показателя для групп упаковки		
	I	II	III
Высота сбрасывания при свободном падении, м	1,8	1,2	0,8
Давление воздуха при испытании на герметичность, кПа	30	20	20
Испытательное гидравлическое давление, кПа	250	100	100
Высота штабелирования при испытании, м	3	3	3

Если принять испытательную высоту штабелирования тары за допускаемую $[H_{\text{шт}}]$, то получим [4]:

$$14,7(n_{\text{в}} - 1)m_{\text{эм}} \leq \left(\frac{[H_{\text{шт}}]}{h_{\text{эм}}} - 1 \right) m_{\text{эм}} g, \quad (7)$$

где $[H_{\text{шт}}]$ – наименьшая высота штабелирования тары с продукцией при испытании, принимается равной 3000 мм;

$h_{\text{эм}}$ – высота грузового места, мм.

g – ускорение свободного падения, принимаем $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

$$n_e = \frac{[H_{\text{шм}}]}{1,5h_{\text{эм}}} + 0,33 \approx \frac{2000}{h_{\text{эм}}}. \quad (8)$$

Если для тары с жидкостью испытательное гидравлическое давление p принять за предельное, то допускаемую нагрузку $[P_i]$ на грузовое место можно оценить следующими значениями:

– вдоль вагона

$$[P_{\text{пр}}] \approx 1000 \frac{p b_m h_m}{k_{\text{эл}}}; \quad (9)$$

– поперек вагона

$$[P_n] \approx 1000 \frac{p l_m h_m}{k_{\text{эл}}}; \quad (10)$$

– по высоте вагона

$$[P_e] \approx 1000 \frac{p b_m l_m}{k_{\text{эл}}}, \quad (11)$$

где b_m, l_m, h_m – размер тары, соответственно, поперек, вдоль и по высоте вагона, м;

$k_{\text{эл}}$ – коэффициент запаса прочности, зависящий от надежности материала тары, ее швов и соединений, принимается равным от 2,0 до 3,0.

Более точные значения $[P_e], [P_{\text{пр}}]$ и $[P_n]$ для каждого конкретного груза необходимо определять расчетным путем, если это возможно, или экспериментально, по специально разработанным методикам.

В процессе испытаний тары с продукцией на свободное падение о жесткое основание максимальную силу удара $P_{\text{уд}}^{\text{max}}$ определяют по формуле [3]

$$P_{\text{уд}}^{\text{max}} = G_{\text{эм}} + \sqrt{G_{\text{эм}}^2 + m_{\text{эм}} v_0^2 \lambda} = G_{\text{эм}} + \sqrt{G_{\text{эм}}^2 + m_{\text{эм}} 2g H_{\text{сб}} \lambda} = G_{\text{эм}} + \sqrt{G_{\text{эм}}^2 + P_{\text{уд}}^2}, \quad (12)$$

где $G_{\text{эм}}$ – вес тары с продукцией (при горизонтальных ударах эту силу следует исключить), Н;

v_0 – скорость тары с продукцией, м/с;

λ – жесткость тары с продукцией, равная величине сжимающей силы P , Н/м;

$H_{\text{сб}}$ – нормативная высота сбрасывания тары с продукцией, м;

$P_{\text{уд}}$ – «ударная составляющая» максимальной силы удара, Н,

$$P_{\text{уд}} = \sqrt{2G_{\text{эм}} H_{\text{сб}} \lambda}. \quad (13)$$

Наибольшая ударная сила, обеспечивающая необходимую прочность тары с продукцией, зависит, в основном, от жесткости грузового места λ : чем больше жесткость тары с продукцией, расположенной в необходимом направлении, соответствующем условиям ее свободного падения, тем большую нагрузку она испытывает в этом направлении при падении.

Таким образом, задача сводится к необходимости определения значений λ в направлении по отношению к таре с продукцией, ориентированной соответствующим образом в вагоне.

Для этого необходимо ориентировочно определить ожидаемые максимальные нагрузки на тару с продукцией. Затем выполнить серию опытов по сжатию исследуемой тары с продукцией (или с эквивалентом продукции) в интересующих для расчета направлениях с одно-временными замерами сил сжатия P_i , до ожидаемой максимальной нагрузки и соответствующих им деформаций Δ_i , м, грузового места.

Жесткость λ_i для каждого P_i в конкретном случае нагружения определяют по формуле

$$\lambda_i = \frac{P_i}{\Delta_i}. \quad (14)$$

Для большинства грузов, перевозимых в таре, особенно для жидких, значения λ_i зависят от P_i . Объяснить это можно следующим образом: груз заполняет тару не полностью, поэтому в первоначальные моменты сжатия «работает» только тара, затем груз постепенно заполняет пустоты внутри тары, сопротивляясь перемещениям, а на заключительных этапах тара и груз в ней сопротивляются сжатию совместно. Поэтому, чтобы определить точное значение $P_{\text{уд}}$ по формуле (13), значение λ в виде функции необходимо подставить в эту

формулу и решить полученное уравнение относительно P_{yd} .

Если для тары с продукцией показатели $P_{\max}^{yd i}$, вычисленные по формуле (12), принять за предельные, то допускаемые нагрузки $[P_i]$ на грузовое место можно оценить:

$$[P_i] = \frac{P_{\max}^{yd i}}{k_{эл}}. \quad (15)$$

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

- количество нарушений безопасности движения, связанных с воздействием динамических сил на вагон с грузом, растет, и необходимо внедрение современных средств защиты от вибрации;
- внедрение новых конструкций устройств виброгашения значительно сократит величины динамических нагрузок на груз в процессе перевозки;
- при создании новых видов тары и повторных испытаниях существующей должны учитываться действующие на нее динамические нагрузки в процессе транспортировки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Тимков, С.И. О динамической нагруженности подвижного состава / С.И. Тимков // Ж.-д. трансп. -2006. -№11. -С. 64-65.
- 2 Виброзащита подвижного состава / И.И. Галиев, Ю.Ф. Савельев, В.Я. Шевченко, Н.Ю. Симак // Ж.-д. трансп. -2008. -№2. -С. 57-59.
- 3 Егоров, С.А. Допускаемые динамические нагрузки на тару и упаковку опасных грузов при перевозке их железнодорожным транспортом / С.А. Егоров, И.В. Хорошилова // Вестн. Сиб. гос. ун-та путей сообщения. -2005. -Вып.12. -С. 182-188.
- 4 Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. -М. 2003. -544 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА перевозка, грузовой железнодорожный вагон, динамические нагрузки, тара, опасные грузы
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Островский Анатолий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»
 Кучкина Екатерина Михайловна, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

ПРОБЛЕМА ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ ТЕМНЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

В.С. Наумов, А.Н. Каленков

THE PROBLEM OF DARK OIL SPILLS LIQUIDATION ON INTERNAL WATERWAYS
 «Volga state academy of water transports»
 V.S. Nauinov, A.N. Kalenkov

The problem of dark oil spills liquidation on internal waterways is considered in the article. The movement of dark oil spills stains on the surface of water is investigated.

Keywords: ecological safely, environment, pollution, dark oil spills, liquidation of consequences

Рассмотрена проблема ликвидации темных нефтепродуктов на внутренних водных путях. Исследовано движение пятен темного нефтепродукта на поверхности воды.

Современный этап развития перевозок на внутренних водных путях (ВВП) характеризуется непрерывным ростом перевозок нефтепродуктов. Одним из важнейших вопросов обеспечения экологической безопасности таких перевозок является предотвращение загрязнения ВВП при авариях судов. При этом основными мероприятиями по снижению последствий от аварийных ситуаций этого типа является оперативная локализация нефтяного пятна и дальнейшее удаление нефтепродуктов с поверхности водного объекта с использованием специальных технологий и соответствующей природоохранной техники [1]. Основным в этих мероприятиях является достаточно длительное нахождение нефтяного пятна (более 4 ч) на

поверхности воды, что характерно для лёгких нефтепродуктов. Вместе с тем анализ типов нефтепродуктов и объёмов их перевозок на примере Волжского бассейна показывает, что основной объём нефтеперевозок составляют тёмные нефтепродукты (рисунок 1). Очевидно, что динамика движения пятна такого типа имеет существенные особенности, связанные с быстрым их погружением в объём воды, что не позволит применять существующие методы ликвидации разливов нефтепродуктов на ВВП. Это в свою очередь приведёт к интенсивному загрязнению дна водоёма и соответственно, ущербу биоресурсам. Поэтому вопрос исследования динамики движения нефтяных пятен подобного типа по водной поверхности является достаточно важным и актуальным.

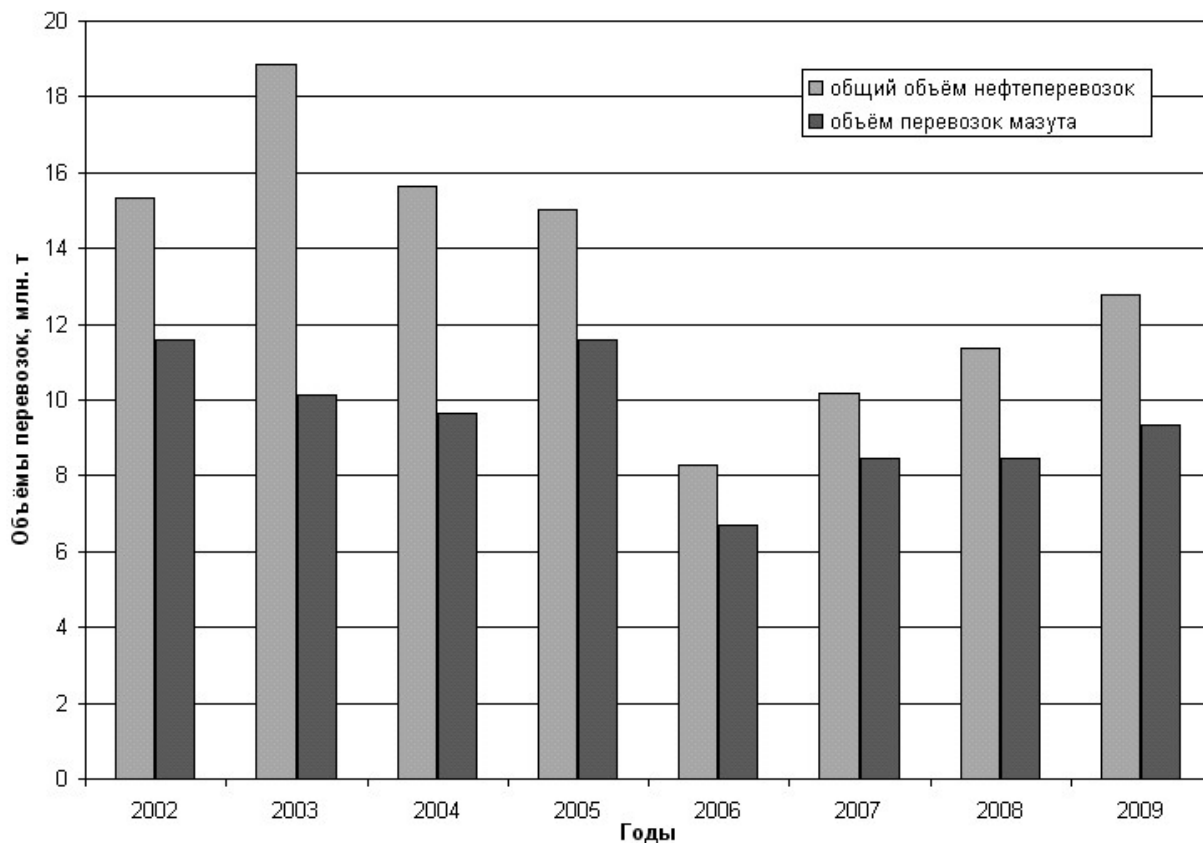


Рисунок 1 – Объёмы перевозок нефтепродуктов в Волжском бассейне

В настоящей работе приведены результаты исследования движения нефтяных пятен на примере мазута Ф-40, основной целью которых было определение времени нахождения нефтяного пятна на поверхности воды при его движении на участке реки.

В качестве инструмента исследования использована математическая модель разлива нефти и нефтепродуктов, в основе которой лежит математическая модель расчёта возможных сценариев поведения разлитой нефти, в соответствии с современными представлениям об основных процессах распространения и физико-химической трансформации нефти, позволяющая моделировать процессы переноса под действием ветра и течений, растекания под действием сил плавучести и турбулентной диффузии, испарения, диспергирования, эмульгирования, осаждения на берега [2].

Математическая модель воспроизводит процессы, происходящие в нефтяном пятне на поверхности воды: распространение, испарение, диспергирование, эмульсификация, изменение вязкости, горение, воздействие дисперсантов, взаимодействие нефти с берегом и сооружениями. Для всего разлива отображаются следующие параметры: объём разлива, количество испарившейся, оставшейся на плаву, выброшенной на берег, утонувшей, сгоревшей, диспергированной и собранной нефти. Кроме того, отображается количество оставшейся на плаву и собранной нефтеводяной смеси, максимальная толщина и площадь пятна.

Модель использует Лагранжев подход к описанию нефтяного пятна, то есть нефть представляются ансамблем частиц, независимо перемещающихся под действием течений и ветра. Траектории нефтяных частиц являются двумерными, для их расчета используются дан-

ные о двумерном поле течений. Параметры воды и атмосферные условия одинаковы для всего разлива и используются в модели для определения процессов выветривания.

Известно, что на движение нефтяного пятна влияет множество факторов: скорость течения, сила и направление ветра, температура воды и воздуха, высота волны, а также объем и тип нефтепродукта. Исследование значимости этих факторов показало, что для определения положения нефтяного пятна достаточно проводить моделирование с учетом влияния 4-х факторов: скорость течения, направление и скорость ветра, объем разлива [3]. В настоящей работе объем разлива принят фиксированным (100 т) согласно нормативному документу [4] и соответствует верхней границе разлива локального уровня, поскольку такие разливы встречаются наиболее часто.

По результатам моделирования построены графики, показывающие зависимость количества нефти на плаву от времени с момента разлива для различных направлений ветра и скоростей течения (рисунок 2 и 3).

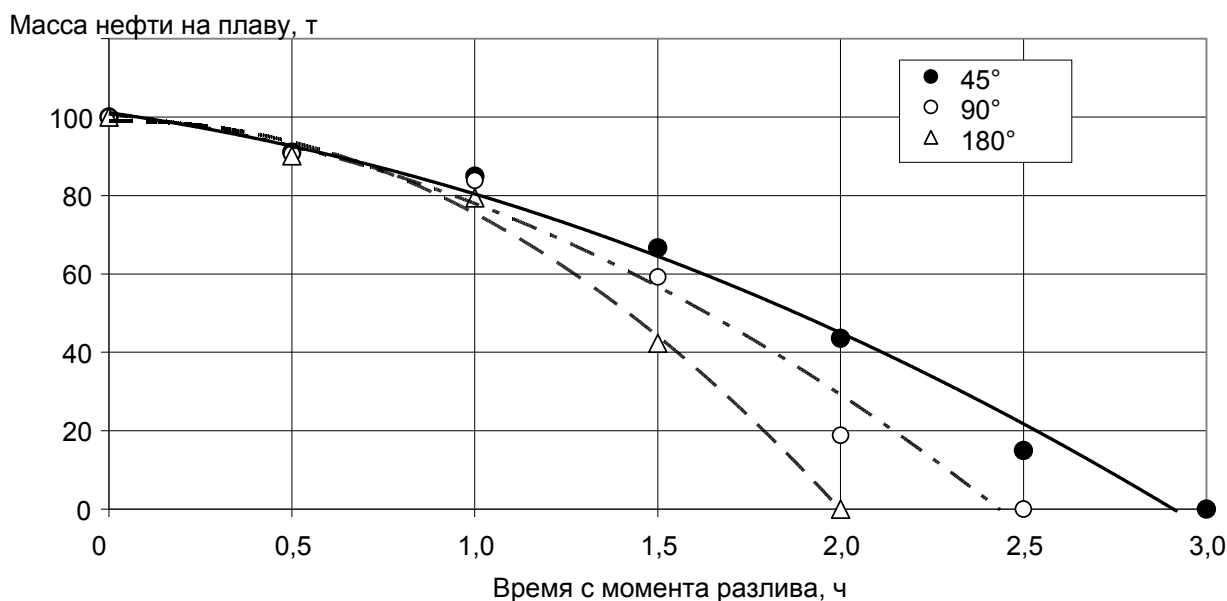


Рисунок 2 – Количество нефти на плаву при различных направлениях ветра. Скорость течения 1,4 м/с

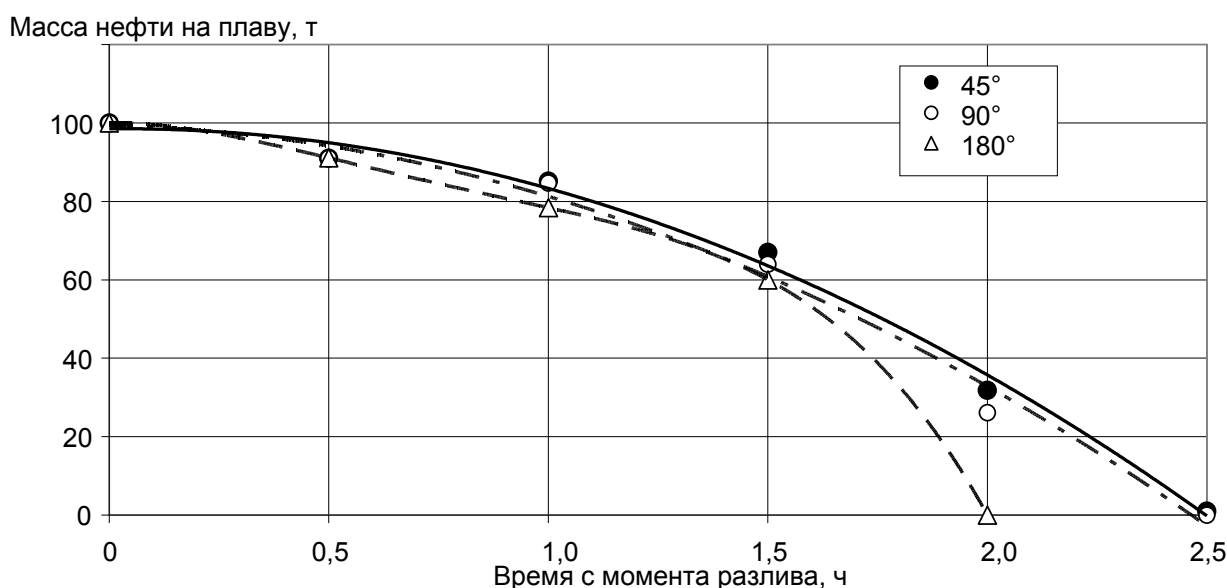


Рисунок 3 – Количество нефти на плаву при различных направлениях ветра. Скорость течения 0,8 м/с

Из рисунка 2 и 3 видно, что до момента времени 1,5 ч с момента разлива около 80% нефтепродукта ещё остаётся на поверхности воды, а затем начинается интенсивное его погружение в объём воды. В итоге в лучшем случае время полного погружения нефтепродукта в воду составляет 3 ч, что практически исключает применение стандартных мероприятий по предотвращению загрязнения окружающей среды от разливов нефти на ВВП.

Таким образом, результаты выполненных исследований показывают необходимость разработки специальных мероприятий по ликвидации последствий загрязнения окружающей среды темными нефтепродуктами при их перевозке по ВВП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Руководство по ликвидации разливов нефти на морях, озерах и реках / под ред. Г.М. Овчинникова. -М.; СПб.: ЦНИИМФ, 2002. -344 с. -(Судовладельцам и капитанам; вып. 22).

2 Наумов, В.С. Учет параметров окружающей среды при моделировании аварийных разливов нефти на внутренних водных путях / В.С. Наумов, А.Н. Бородин // Международный научно-промышленный форум «Великие реки-2008»: генерал. докл. : тез. докл. / Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. -Н. Новгород, 2008. -С. 213-214.

3 Наумов, В.С. Развитие программного комплекса для моделирования и анализа загрязнения окружающей среды PISCES II / В.С. Наумов, А.Е. Пластинин // Международный научно-промышленный форум «Великие реки-2008»: тр. конгр. / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. -Н. Новгород, 2008. -С. 197-199.

4 О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации: постановление Правительства Рос. Федерации от 15 апр. 2002 г. №240.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА экологическая безопасность, окружающая среда, загрязнение, разливы темных нефтепродуктов, ликвидация последствий

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Наумов Виктор Степанович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «ВГАВТ»
Каленков Александр Николаевич, аспирант ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

К УЧЕТУ ВЛИЯНИЯ СРЕДЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей
сообщения»

В.Я. Ткаченко, К.И. Сидорова

TO INTEGRATE THE ENVIRONMENTAL EFFECT IN THE DESIGN OF RAILWAYS

«Siberian state transport university»

V.Ya. Tkachenko, K.I. Sidorova

Proposed a preliminary classification of environmental factors affecting the duration and cost of construction of railways.

Keywords: environmental factors, classification, railways, construction, system approach

Предложена предварительная классификация факторов среды, влияющих на продолжительность и стоимость строительства железных дорог.

В наше время сложные слабоструктуризованные проблемы решаются на основе системного подхода (СП). Азы СП известны. Они состоят в рассмотрении проблемы в системе внешних и внутренних связей. Вначале выделяют саму систему (проект, проблему, её среду, окружение) и границы среды, после чего переходят к изучению системных связей, обеспечивающих эффективное решение поставленной задачи.

К сожалению, кажущаяся теоретическая простота подхода не означает быстрое и эффективное достижение результата. Особенно это относится к проектированию железных и автомобильных дорог, отличающихся линейной протяженностью, высокой капиталоемкостью и повышенной зависимостью от характеристик среды.

Правильная совокупная оценка влияния среды на ресурсоемкость и стоимость линейного строительства составляют ключевую задачу проектирования линейно-протяженных объектов.

Среда воздействует на строительную программу многосторонне и комплексно: на сам объект (план и профиль трассы, типы линейных сооружений, объемы и стоимость работ и другие параметры); на целевые установки программы (продолжительность строительства, число участков и этапов строительства); на процесс строительства и подпрограммы обслуживания. Попытки адекватной оценки факторов среды известны [1-3]. Однако они ограничиваются главным образом учетом отдельных факторов и не дают комплексного решения проблемы. Недостаток такого подхода состоит и в том, что факторы каждый раз воздействуют в определенном сочетании и плохо поддаются отдельной количественной оценке их влияния.

Нами, на основе многоэтапного экспертного опроса проектировщиков и строителей, выделены десять основных групп факторов среды – первичных и вторичных, которые значимо влияют на организацию, методы и стоимость строительства железных дорог (таблица 1).

Таблица 1 – Факторы среды, влияющие на организацию, методы и стоимость строительства железных дорог

Группа факторов	Наименование факторов
Первичные	1 Топография и рельеф территории
	2 Инженерные условия (геологические, гидрологические, геокриологические и др.)
	3 Погодно-климатические условия
	4 Экономико-географические и транспортные условия
Вторичные	5 Нормы проектирования
	6 Материально-техническая вооруженность производства и обеспеченность строительными ресурсами
	7 Демографические и социальные условия
	8 Профессионально-квалификационная обстановка
	9 Экологические (в особенности медико-биологические и санитарные) условия
	10 Механизм (система хозяйствования и организационная структура) управления строительством

В качестве совокупного качественного критерия оценки среды обычно называют сложность, трудоемкость и стоимость строительства транспортного объекта. Применительно к строительству новой железной дороги экспертный опрос позволил выделить пять совокупных критериев условий – от несложных до экстремальных. Каждая категория описывается пятью группами факторов среды, состав и значения которых по классам различаются. Ниже приведена информация для районов Западной и Восточной Сибири, как одного из основных территорий строительства новых железных дорог согласно Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года [5] (таблица 2).

Таблица 2 – Классификация условий организации строительства железной дороги на территории Сибири

Характеристика условий строительства в районе	Район строительства	
	Западная Сибирь	Восточная Сибирь
Топография, рельеф	Степь и лесостепь. Равнины и слабо-холмистый рельеф. Переувлажненные и таежноболотистые районы. Развитая гидрографическая сеть	Предгорье. Горы. Заболоченные районы. Переувлажненные и таежноболотистые районы
Инженерно-геологические условия	Территория с неблагоприятными условиями: болота и мокрые основания Просадочные грунты Островная вечная мерзлота	Островная вечная мерзлота. Сейсмичность до 5 баллов
Климат	Умеренно континентальный	Резко континентальный
Экономико-географические и транспортные условия района	Район обжит. Транспортная сеть развита умеренно. Относительно легкие условия для создания построечных путей	Район обжит слабо. Пути сообщения развиты слабо. Условия для создания построечных путей сложные
Обеспеченность ресурсами	Местные трудовые ресурсы имеются. База стойиндустрии развита недостаточно. Условия для её создания благоприятные	Трудовые ресурсы невелики либо их нет. Строительных материалов мало либо нет. Производственная база развита слабо либо отсутствует

Представленная здесь качественная, описательная классификация условий строительства составляет первую очередь решения задачи. Дальнейшие исследования имеют целью разработку количественной классификации применительно к Стратегии развития железных дорог.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Каючкин, Н.П. Географические основы транспортного освоения территории / Н.П. Каючкин. -Новосибирск: Наука, 2003. -167 с.
 - 2 Волков, Б.А. Анализ сметной стоимости строительства дорог / Б.А. Волков, А.Д. Ларионов. -М.: Транспорт, 1980. -159 с.
 - 3 Пауль, В.П. Проектирование организации строительства железных дорог / В.П. Пауль. -М.: Транспорт, 1980. -167 с.
 - 4 Организация строительства и реконструкции железных дорог / И.В. Прокудин [и др.]. - М.: УМЦ ЖДТ, 2008. -736 с.
 - 5 Стратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 г. -М., 2008. -140 с.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** факторы среды, классификация, железные дороги, строительство, системный подход
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Ткаченко Виктор Яковлевич, докт. экон. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»
Сидорова Ксения Игоревна, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА МЕТОДОМ КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей
сообщения»

В.Д. Верескун, В.С. Воробьев

THE FORECASTING OF ACTIVITIES IN TRACK FACILITIES BY METHOD OF CORRELATION-REGRESSION ANALYSIS
«Siberian state transport university»
V.D. Vereskun, V.S. Vorobjev

Given the main notions of the planning in track facilities, interaction scheme of the forecasting and of the planning is presented here. Have been determined a statistical dependence in track condition of West-Siberian railway.

Keywords: the track, track facilities, the forecast, the forecasting, the plan, the planning, the condition of infrastructure, the correlation-regression analysis

Даны основные понятия прогнозирования путевого хозяйства, схема взаимодействия процессов прогнозирования и планирования на стадии разработки квартального и месячного плана, получены статистические зависимости показателей состояния путевого хозяйства Западно-Сибирской железной дороги, положенные в основу их прогнозирования.

Путевое хозяйство представляет собой сложную организационно-технологическую систему, функционирующую в условиях воздействия множества случайных факторов. Согласно «Положения о системе ведения путевого хозяйства на железных дорогах РФ» [1] путевые работы должны планироваться на основе анализа динамики изменения технического состояния пути. Значения показателей состояния путевого комплекса определяют подходы к планированию и прогнозированию его деятельности. Среди них значимое место занимают статистические методы. Однако, их применение ограничено как во времени, так и в пространстве. Они эффективны для оперативного планирования и прогнозирования на конкретных дорогах и даже на конкретных участках дорог.

Прежде, чем перейти к статистическому анализу показателей состояния путевого хозяйства Западно-Сибирской железной дороги, уточним основные понятия прогнозирования и планирования.

Введем некоторые определения, которые, на наш взгляд, позволяют устранить возможные трудности, связанные с недостаточной определенностью терминологии. За основу примем рабочую книгу по прогнозированию [2].

Прогноз определяется как научно обоснованное суждение о возможных состояниях объекта в будущем и/или об альтернативных путях и сроках их осуществления. Прогноз и

план различаются способами оперирования информацией о будущем. Если календарный план определяет директивное решение относительно порядка, очередности, сроков выполнения работ, их ресурсного обеспечения, то прогноз определяет вероятностное описание возможного состояния путевого хозяйства. Прогноз и план могут разрабатываться независимо друг от друга. Более того, в некоторых подразделениях прогноз вообще не разрабатывается. Вместе с тем для того, чтобы план был эффективным, ему должен предшествовать прогноз, позволяющий обосновывать данный и последующий планы.

Различают прогнозы: поисковый, нормативный, целевой, плановый, программный, проектный, организационный – по программно-целевому критерию и оперативный (текущий), кратко-, средне-, долго- и дальнесрочный (сверхдолгосрочный) – по промежутку времени, на который они рассчитаны.

Применительно к путевому хозяйству будем понимать:

- под поисковым прогнозом – определение возможных состояний в будущем (через месяц, квартал, год и т.д.);
- под нормативным прогнозом – определение путей и сроков достижения возможных состояний путевого хозяйства;
- под целевым прогнозом – определение путей и сроков достижения заданного (желаемого) состояния путевого хозяйства;
- под плановым прогнозом – имитацию хода выполнения плана для определения вероятности его выполнения;
- под программным прогнозом – определение возможных путей, мер и условий достижения заданного состояния путевого хозяйства;
- под организационным прогнозом – определение (выработку) вероятных результатов реализации принимаемых текущих решений.

Временная градация прогнозов является относительной. Она может быть принята такой же, как и для планирования: оперативные прогнозы – до месяца (месяц, декада/неделя); краткосрочные – до года (квартал, год), среднесрочные – до пяти лет, долгосрочные – до 15-ти лет, дальнесрочные – свыше 15-ти лет (например, Стратегия развития железнодорожного транспорта).

Процесс разработки прогнозов называется прогнозированием.

Возможны два варианта использования прогнозов при календарном планировании путевого хозяйства:

- прогнозирование для разработки календарного плана (прогноз-план);
- прогнозирование хода выполнения календарного плана.

При использовании прогнозной информации для разработки плана необходимо, чтобы совокупность показателей, по которым разрабатывается прогноз, соответствовала совокупности показателей плана как по каждому уровню управления, так и между уровнями. Необходимо также, чтобы прогнозная информация вырабатывалась с упреждением во времени относительно срока разработки плана.

Концепция «прогноз-план» реализуется в предварительном прогнозировании показателей на заданный период времени с целью формулирования вероятных альтернатив его развития и последующего выбора оптимального планового решения по принятому критерию оптимальности.

Известные работы отечественных ученых Н.П. Кондакова [3], Г.И. Тарнопольского, В.Н. Шкляра, В.И. Котюкова, И.Ф. Сухова [4], Г.К. Щепотина [5], Г.Г. Гришиной [6], Н.И. Карпущенко, В.А. Грищенко [7], В.Я. Шульги, А.В. Болотина [8], Н.И. Коваленко [9], Э.В. Воробьева, К.Н. Дьякова, В.Г. Максимова [10], применявших статистические методы анализа состояния пути, посвящены, в первую очередь, оценке надежности элементов пути. Математический аппарат статистических методов исследования в настоящее время достаточно полно разработан. Известен ряд программных средств, реализующих стандартные алгоритмы расчета параметров случайных величин, выравнивания законов распределения и т.д. Из статистических методов в данном параграфе используются методы корреляционного анализа для определения степени тесноты связи выборок двух переменных путем расчета корреляционного отношения, дисперсионного и регрессионного анализа для определения зависимости между ними. В качестве программного обеспечения использован Microsoft Excel. Выбор пар статистических параметров определялся из соображений физической связи показателей состояния путевого хозяйства.

Нами установлен ряд зависимостей между параметрами и факторами состояния ин-

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

фраструктуры на основе корреляционно-регрессионного анализа, которые сведены в таблицу.

Таблица – Статистические зависимости показателей состояния путевого хозяйства Западно-Сибирской железной дороги с 2002 года по 2008 год

Показатели выхода Y	Показатели входа X	Корреляционное отношение	Уравнении регрессии $Y = AX + B$		Уравнении аппроксимации $y = ax^2 + bx + c$	
1	2	3	4	5	6	7
Количество дефектных сооружений, шт.	Средняя грузонапряженность, млн. тк. б./км	-0,96607	A	-5,09859	a	0
			B	503,3099	b	-5,0986
			F	69,9589	c	503,31
			F*	$3,99 \cdot 10^{-4}$	R ²	0,9333
Количество дефектных сооружений с неудовлетворительной балльной оценкой, шт.	Средняя грузонапряженность, млн. тк. б./км	0,733683	A	-0,8998	a	0,0957
			B	24,52	b	8,1294
			F	5,8293	c	232,96
			F*	$605,34 \cdot 10^{-4}$	R ²	0,8093
Количество дефектных сооружений с неудовлетворительной балльной оценкой, шт.	Количество дефектных сооружений, шт.	-0,68211	A	-0,15853	a	0
			B	108,7848	b	-0,1585
			F	4,3506	c	108,78
			F*	$913,83 \cdot 10^{-4}$	R ²	0,4653
Балльная оценка: коэффициент состояния	Количество дефектных сооружений, шт.	-0,63827	A	-0,00238	a	$6 \cdot 10^{-5}$
			B	4,454612	b	0,0345
			F	5,9465	c	8,6099
			F*	$587,59 \cdot 10^{-4}$	R ²	0,7061
Балльная оценка: коэффициент содержания	Количество дефектных сооружений, шт.	-0,73704	A	-0,0023	a	$5 \cdot 10^{-5}$
			B	4,74216	b	-0,0269
			F	5,9465	c	7,9224
			F*	$587,59 \cdot 10^{-4}$	R ²	0,7888
Количество дефектных сооружений, шт.	Балльная оценка: коэффициент содержания	-0,73704	A	-234,67	a	0
			B	1229,123	b	-234,67
			F	5,9465	c	1229,1
			F*	$587,59 \cdot 10^{-4}$	R ²	1
Балльная оценка: коэффициент состояния	Количество дефектных сооружений с неудовлетворительной балльной оценкой, шт.	0,897386	A	0,014368	a	0
			B	2,866819	b	0,0144
			F	20,6808	c	2,8668
			F*	$61,26 \cdot 10^{-4}$	R ²	0,8053
Количество дефектных сооружений с неудовлетворительной балльной оценкой, шт.	Балльная оценка: коэффициент содержания	0,884413	A	0,011952	a	0
			B	3,334988	b	0,012
			F	17,9553	c	3,335
			F*	$81,90 \cdot 10^{-4}$	R ²	0,7822
Балльная оценка: коэффициент состояния	Численность общая, чел.	-0,83726	A	-0,00042	a	$1 \cdot 10^{-6}$
			B	9,684922	b	-0,0279
			F	11,7229	c	198,04
			F*	$187,59 \cdot 10^{-4}$	R ²	0,8992
Балльная оценка: коэффициент содержания	Численность общая, чел.	-0,88958	A	-0,00038	a	$7 \cdot 10^{-7}$
			B	9,385664	b	-0,0195
			F	18,9645	c	140,52
			F*	$73,26 \cdot 10^{-4}$	R ²	0,9262
Балльная оценка: коэффициент состояния	Численность монтеров пути, чел.	-0,73377	A	-0,0006	a	$2 \cdot 10^{-6}$
			B	7,846138	b	-0,0316
			F	5,8324	c	111,18
			F*	$604,87 \cdot 10^{-4}$	R ²	0,7841
Балльная оценка: коэффициент содержания	Численность монтеров пути, чел.	-0,78463	A	-0,00054	a	$2 \cdot 10^{-6}$
			B	7,759649	b	-0,0215
			F	8,0090	c	77,71
			F*	$366,74 \cdot 10^{-4}$	R ²	0,7737

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7
Дефектность рельсов	Количество неудовлетворительных километров	0,901733	A	0,000377	a	$-2 \cdot 10^{-7}$
			B	0,568266	b	0,0011
			F	21,7554	c	0,1233
			F*	$55,11 \cdot 10^{-4}$	R ²	0,9458
Дефектность шпал	Количество неудовлетворительных километров	0,965832	A	0,000472	a	0
			B	9,600272	b	0,0005
			F	69,4399	c	9,6003
			F*	$4,07 \cdot 10^{-4}$	R ²	0,9328

F -критерий Фишера; F* -значимость критерия Фишера

Для системы планирования на год с разбивкой по кварталам, на квартал с разбивкой по месяцам при формировании месячного плана взаимодействие планирования и прогнозирования показателей путевого хозяйства предлагается проводить по схеме на рисунке 1. Данная схема не является единственной, возможны различные варианты. Например, при месячном планировании прогноз осуществляется на два последующих месяца и т.д. Выбор той или иной схемы должен быть обоснован для конкретной дороги или условий производства работ.

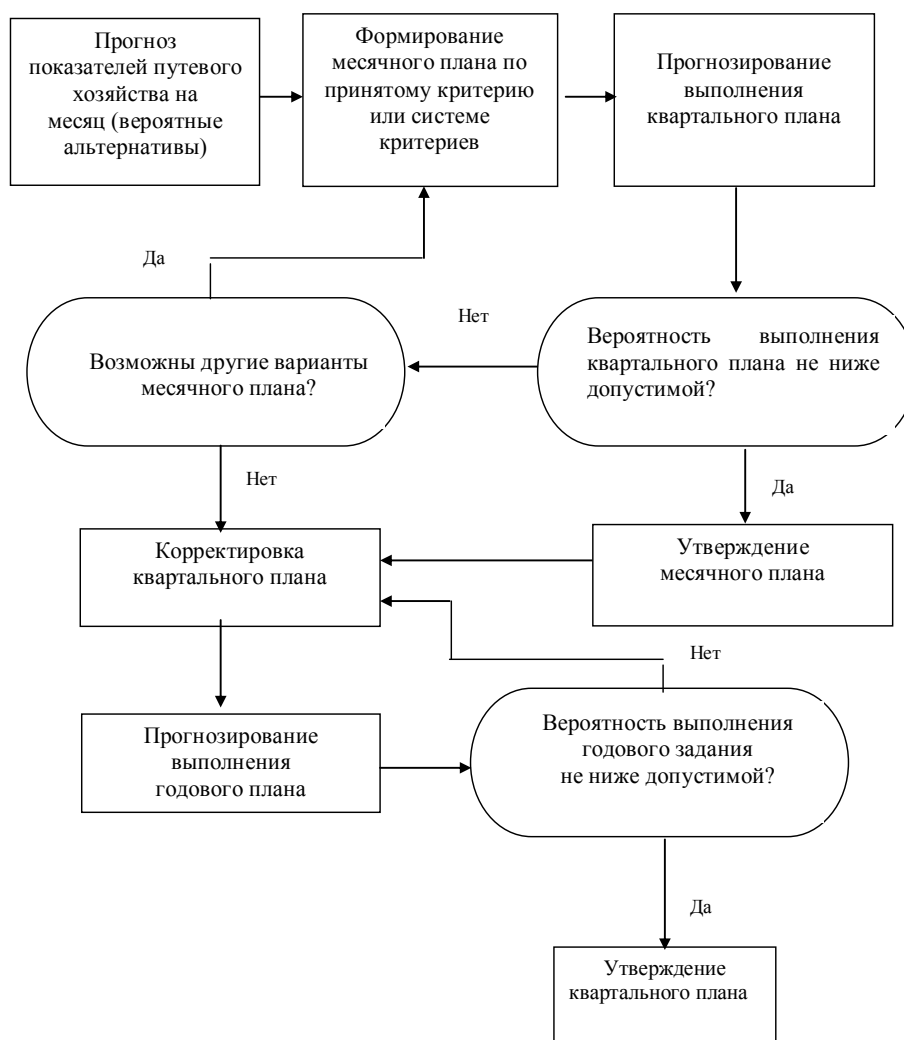


Рисунок – Схема взаимодействия процессов прогнозирования и планирования на стадии разработки квартального и месячного плана

Прогнозирование хода выполнения календарного плана может проводиться: на начало планового периода с целью определения вероятности его выполнения; последовательно в заданные моменты времени на плановом периоде с целью получения прогнозной информации для выработки управляющих решений, направленных на его выполнение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Положение о системе ведения путевого хозяйства на железных дорогах РФ: утв. 27.04.01. -М., 2002. -21 с.
 - 2 Рабочая книга по прогнозированию. -М.: Мысль, 1982. -430 с.
 - 3 Кондаков, Н.П. Влияние осевых нагрузок на срок службы деревянных шпал / Н.П. Кондаков, О.В. Новикова // Железнодорожный путь на грузонапряженных участках. - Новосибирск, 1975. -С. 8-9.
 - 4 Анализ зависимости надежности пути от объема поставок новых рельсов с учетом условий эксплуатации / Г.И. Тарнопольский, В.Н. Шкляр, В.И. Котюков, И.Ф. Сухов // Железнодорожный путь на грузонапряженных участках. -Новосибирск, 1977. -С. 141-148.
 - 5 Щепотин, Г.К. Эксплуатационная надежность железнодорожного пути / Г.К. Щепотин. - Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. ун-та путей сообщения, 2008. -144 с.
 - 6 Гришина, Г.Г. Влияние природно-климатических факторов на надежность рельсов на высокогрузонапряженных участках Сибири / Г.Г. Гришина, Г.К. Щепотин // Повышение надежности и эффективности работы железнодорожного пути в условиях роста осевых нагрузок подвижного состава / Новосиб. ин-т инженеров ж.-д. трансп. -Новосибирск, 1989. -С. 65-69.
 - 7 Управление техническим состоянием пути / Н.И. Карпущенко [и др.]. -Новосибирск: Сиб. гос. акад. путей сообщения (НИИЖТ), 1995. -205 с.
 - 8 Шульга, В.Я. Периодичность проверки рельсов / В.Я. Шульга, А.В. Болотин // Путь и путевое хоз-во. -1993. -№4. -С. 9-12.
 - 9 Коваленко, Н.И. Определение расчетного срока службы деревянных шпал на линиях с высокой грузонапряженностью / Н.И. Коваленко // Вестн. ВНИИЖТа. -1985. -№7. -С. 36-39.
 - 10 Технология, механизация и автоматизация путевых работ / Э.В. Воробьев [и др.]; под ред. Э.В. Воробьева, К.Н. Дьякова. -М.: Транспорт, 1996. -375 с.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА** *путь, путевое хозяйство, прогноз, прогнозирование, план, планирование, состояние инфраструктуры, корреляционно-регрессионный анализ*
- СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Верескун Владимир Дмитриевич, канд. техн. наук, профессор, ректор ГОУ ВПО «СГУПС»
Воробьев Валерий Степанович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»*
- ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*

РАСЧЕТ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА С УЧЕТОМ КОЛЕБАНИЙ ЕГО ТЕМПЕРАТУРЫ

«Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова»

Н.М. Зайцева, Б.Б. Исабекова, М.Я. Клецель

ACCOUNT OF SPECIFIC RESISTANCE OF A GROUND IN VIEW OF FLUCTUATIONS OF ITS TEMPERATURE

«Pavlodar state university named Torajgyrova»

N.M. Zaitzeva, B.B. Isabekova, M.Y. Kletzel

The formula for temperature definition on depth of a ground lead is received. The algorithm and the program for calculation of its specific resistance depending on temperature are given.

Keywords: specific resistance, ground, temperature, humidity, indistinct logic

Получена формула для определения температуры на глубине заземлителя. Даются алгоритм и программа для расчета его удельного сопротивления в зависимости от температуры.

Без заземляющих устройств немыслима нормальная работа электроустановок. При расчете заземлений используется удельное электрическое сопротивление грунта ρ . Его величина зависит от вида грунта, температуры t на глубине заземлителя и влажности ν , которые меняются в течение года. Ввиду сложности учета этих факторов при определении ρ в качестве его расчетного значения принято брать наиболее неблагоприятное [1], что влечет за собой излишнее усложнение конструкции устройства заземления и увеличение количества металла для его изготовления. В данной работе предлагаются алгоритм и программа для определения ρ грунта, позволяющая учесть упомянутые факторы.

Программа разработана в среде Delphi с использованием базы данных Access. Пользователь устанавливает значения основных исходных параметров модели (количество слоев грунта – 3, его род, например, «супесь», «глина», «песок», толщина первого, второго и

третьего слоев 2 м, 1 м и 2 м, соответственно, влажность – 14%, 13% и 5%), выбирает временной диапазон года – «июль» и получает температуру и искомые значения ρ .

Моделирование температуры грунта выполнено на основе данных о годовом колебании температуры поверхности земли. К распространению тепла в грунте применима общая теория молекулярной теплопроводности [2]: период колебания температуры для всех типов грунта с глубиной не изменяется, то есть равен в суточном ходе 24 часам, а в годовом – 12 месяцам. Годовые колебания температуры распространяются в глубину с уменьшением амплитуды, причем t убывает до нуля на глубине 15-20 м в средних широтах, а дальше идет слой с постоянной температурой. Годовые максимумы и минимумы запаздывают на каждый метр на 20-30 суток, и это запаздывание прямо пропорционально глубине. Анализируя данные [2] по г. Калининграду и Павловску и данные метеоцентров за 2005-2009 гг. Павлодарской области, мы заметили, что все зависимости близки к синусоиде. Аппроксимируя их, мы получили следующую формулу для нахождения t грунта на любой глубине:

$$T = 8 - A_n \cdot q^h \cdot \sin\left(\frac{\pi[365 - 4(x - 20h)]}{730}\right), \quad (1)$$

где x – дни, коэффициент «20» учитывает запаздывание максимума (минимума) годового колебания температуры [2] на 1 м глубины относительно температуры поверхности грунта;

A_n – амплитуда колебания температуры поверхности грунта (относительно слоя постоянной годовой температуры, которая равна 8 °С) на требуемой глубине;

h – расстояние от поверхности грунта (при условии $h = 15$ м (глубина постоянной годовой температуры для средних широт), м;

q – характеризует убывание температуры в глубь грунта,

$$q = \exp\left(\frac{1}{h} \ln \frac{A_{nT}}{A_n}\right);$$

A_{nT} – амплитуда колебания температуры на глубинах с постоянной годовой температурой, приблизительно $A_{nT} \approx 0,1$ °С.

Значение амплитуды колебания температуры поверхности грунта

$$A_n = \frac{T_{n\max} - T_{n\min}}{2}, \quad (2)$$

где $T_{n\max}, T_{n\min}$ – максимальная и минимальная среднемесячная температуры поверхности грунта за год для данной местности.

Результат моделирования годового хода температуры для трех слоев приведен на рисунке 1. Расчеты показали, что погрешность ее определения не более 15%.

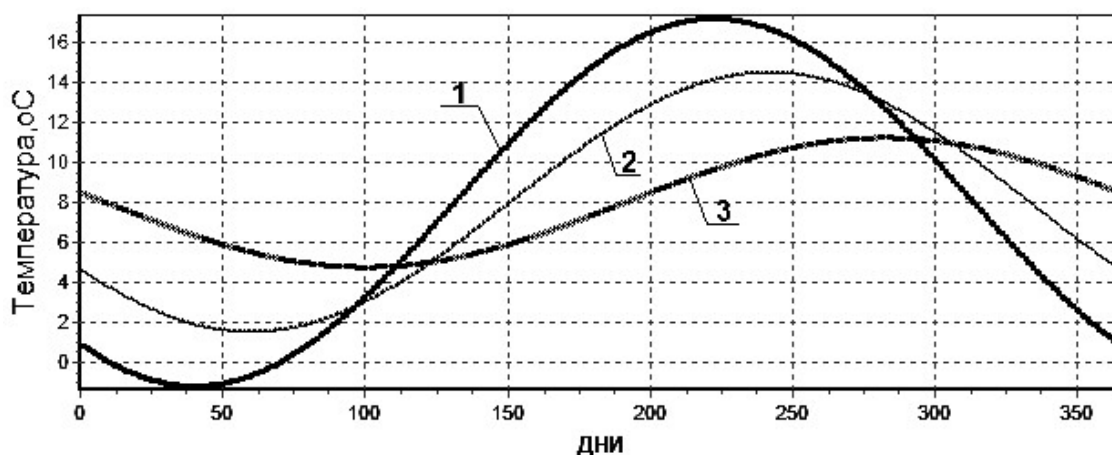


Рисунок 1 – Графики изменения температуры слоев: 1-супесь, толщина слоя 2 м, влажность 14%); 2-глина, толщина слоя 1 м, влажность 13%); 3-песок, толщина слоя 2 м, влажность 5%)

Модель определения ρ грунта [3] для песка и супеси при $t = 20$ °С в зависимости от v построена на основе теории нечеткой логики и регрессионного моделирования, кОм·м:

$$\rho_n = 6,8 \cdot 0,4^v \mu_1 + 1,5 \cdot 0,9^v \mu_2; \quad \rho_c = 96 \cdot 0,06^v \mu_1 + 2 \cdot 0,8^v \mu_2, \quad (3)$$

где ν – влажность, заданная нечетко.

Первый интервал – «сухо»; второй – «влажно» $\nu > 6$, область переключения $2 \leq \nu \leq 6$, $\mu_1(\mu_2)$ -функция принадлежности, принимающая значение 0 (1) при $0 \leq \nu < 2\%$ и значение 1(0) при $\nu > 6$ [3].

Для расчета сопротивления ρ влагосодержащего грунта в диапазоне положительных значений температуры использована известная формула [1]

$$\rho = \rho_{20} \exp[-0,022(t - 20)], \quad (5)$$

где ρ_{20} – удельное сопротивление (2) при $t = 20$ °C;

t – температура грунта.

В диапазоне отрицательных температур вычисление ρ выполняется по следующему алгоритму: сначала вычисляется (в районе от 0 °C до -1 °C) ρ согласно [3]

$$\rho_n^1 = \rho_n^0(-343\nu^2 + 85,5\nu - 0,9); \quad \rho_c^1 = \rho_c^0(236\nu^2 - 2,2\nu + 1,2), \quad (6)$$

где ρ_n^0, ρ_c^0 – удельные сопротивления песка и супеси при 0 °C;

ρ_n^1, ρ_c^1 – удельные сопротивления песка и супеси при -1 °C.

При температуре ниже -1 °C расчет ведется с помощью зависимостей [3]

$$\rho_n = \rho_n^1 0,87^{(t+1)}; \quad \rho_c = \rho_c^1 0,88^{(t+1)}. \quad (7)$$

На рисунке 2 приведены полученные зависимости ρ от t и ν для супеси, глины и песка для исходных данных, представленных выше.

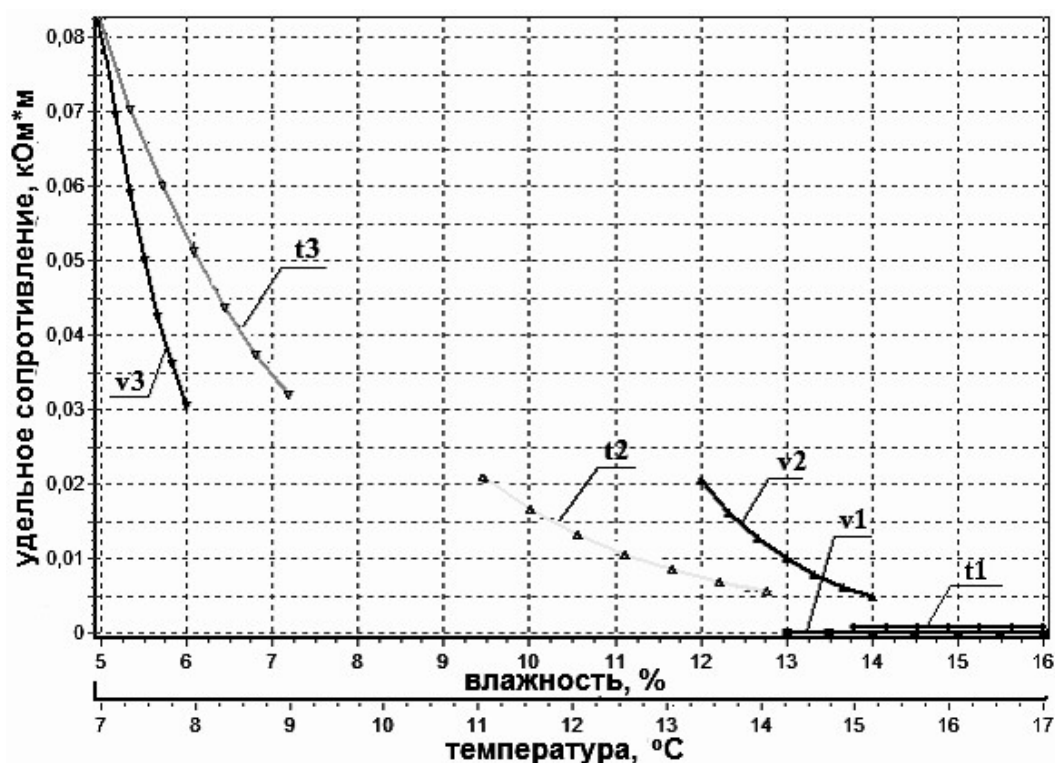


Рисунок 2 – Графики изменения удельного сопротивления грунта в зависимости от температуры и влажности слоев

Вывод: Предлагаемые алгоритм и программа позволяют рассчитать удельное сопротивление грунта точнее, чем это делается в настоящее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Карякин, Р.Н. Заземляющие устройства промышленных электроустановок / Р.Н. Карякин, В.И. Солнцев. -М.: Энергоатомиздат, 1989. -191 с.: ил.
- 2 Лосев, А.П. Агрометеорология / А.П. Лосев, Л.Л. Журина. -М.: КолосС, 2004. -301 с.: ил.
- 3 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.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: удельное сопротивление, грунт, температура, влажность, нечеткая логика
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Зайцева Наталья Михайловна, канд. техн. наук, доцент «ПГУ им. С. Торайгырова»
Исабекова Бибигуль Бейсембаевна, соискатель «ПГУ им. С. Торайгырова»
Клецель Марк Яковлевич, докт. техн. наук, профессор «ПГУ им. С. Торайгырова»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64, «ПГУ им. С. Торайгырова»

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

И.М. Головачев

FEATURES OF THE TECHNIQUE OF STUDYING OF DISCIPLINE «THE AUTOMATED DESIGNING IN BUILDING»
«Novosibirsk state academy of water transports»
I.M. Golovachev

Introduction of a new subject matter in the curriculum of students of a specialty 270104 «Hydraulic engineering building» is analyses.

Keywords: the curriculum, subject matter

Проанализировано введение новой учебной дисциплины в учебный план студентов специальности 270104 «Гидротехническое строительство».

В учебном плане студентов, обучающихся по специальности 270104 «Гидротехническое строительство», не очень часто появляются новые учебные дисциплины. Одной из таких новых дисциплин в учебном плане появилась дисциплина «Автоматизированное проектирование в строительстве». Появление этой дисциплины было связано с изменением технологии создания проектной продукции архитектурно-строительного профиля.

Проектные институты и фирмы архитектурно-строительного профиля, а также строительные отделы специализированных проектных институтов и фирм начали широко использовать методы автоматизированного компьютерного создания проектной продукции.

На рабочих столах проектировщиков стоят персональные компьютеры, которые используются для выполнения расчетов строительных конструкций на различные виды воздействий, для выполнения чертежных работ средствами машинной компьютерной графики, для составления проектно-сметной документации на проектируемые объекты.

В связи с этим обстоятельством в учебный план студентов гидротехнической специальности была введена новая учебная дисциплина «Автоматизированное проектирование в строительстве». При кафедре строительного производства НГАВТ была создана специализированная учебная лаборатория автоматизированного проектирования в строительстве. Лаборатория была оснащена современным компьютерным оборудованием на 14 рабочих компьютерных мест, которое позволяло проводить учебные занятия по этой дисциплине по подгруппам студентов.

Каким же образом должна была строиться методика изучения этой сравнительно новой учебной дисциплины ?

К методике изучения данной дисциплины, которая излагается ниже, лаборатория пришла, естественно, не сразу, а постепенно совершенствуя и усложняя ее на протяжении ряда учебных лет.

В настоящее время программа изучения дисциплины «Автоматизированное проектирование в строительстве» практически состоит из 4 основных разделов.

I раздел дисциплины – изучение основ машинной компьютерной двумерной графики и простейших машинных расчетов металлических конструкций.

По этому разделу студенты-гидротехники в VI семестре в лаборатории выполняют курсовой проект полностью в компьютерном варианте исполнения на тему «Расчет и проектирование покрытия производственного здания из металлических стропильных ферм».

В пояснительной записке к проекту, которая выполняется, естественно, в компьютерном варианте студенты оформляют результаты ручных расчетов конструкции покрытия и результаты машинных компьютерных расчетов по определению величины усилий в элементах фермы, а также подбор сечений элементов верхнего и нижнего поясов, стержней решетки фермы с помощью программы «SCAD Office».

После выполнения ручных и машинных расчетов покрытия здания студенты в машинной графике по программе ArchiCAD вычерчивают в двумерной плоской машинной графике отдельные файлы курсового проекта: монтажный план покрытия из металлических ферм, продольный и поперечный разрезы покрытия, расчетно-геометрическую схему фермы с размерами и усилиями во всех стержнях, отправочный элемент фермы, отдельные узлы горизонтальных связей ферм, спецификацию металла к отправочному элементу, спецификацию металлических изделий к ферменному покрытию здания.

Все перечисленные выше чертежные файлы графики затем вставляются и компонуются в формат чертежного листа А1 с рамкой и штампом, который затем представляется при защите курсового проекта.

Таким образом, на первом этапе изучения дисциплины студенты выполняют значительный объем машинных чертежных работ, осваивая элементы плоской двумерной машинной графики.

II раздел дисциплины – изучение основ машинной компьютерной графики при проектировании строительных объектов из трехмерных объемных элементов проводится в VII семестре.

По этому разделу студенты-гидротехники выполняют курсовой проект на тему «Расчет и компьютерное проектирование жилого здания коттеджного типа». Проект выполняется на основе задания, в котором каждому студенту выдается индивидуальный эскизный план первого этажа здания с основными габаритными размерами и набором определенных помещений. План первого этажа здания при этом имеет усложненную конфигурацию – с эркерами, объемными окнами, гаражными боксами на разное количество автомашин и т.д.

На основе выданного плана первого этажа здания студент должен выполнить в компьютерном варианте проект здания в два этажа, с подвальным помещением, с цоколем высотой 1 м, с фризным парапетом высотой в 1 м, с многоскатной чердачной крышей из трехмерных объемных элементов.

Студенты проектируют здание отдельными файлами и выполняют в машинной графике программы ArchiCAD: план первого этажа, план второго этажа, план подвала, план стропил крыши, два разреза здания, четыре 3D-проекции здания разного вида и спецификацию всех помещений запроектированного здания. В процессе проектирования студенты также выполняют планы междуэтажных перекрытий из железобетонных многопустотных панелей и проектируют железобетонную монолитную плиту перекрытия над гаражным боксом здания.

Все отдельные чертежные файлы приближены по объему и оформлению к рабочей документации – на планах указываются все цифровые и буквенные разбивочные оси, все основные необходимые наружные и внутренние размеры здания, наименования и площади помещений здания. Кроме того, студенты проектируют внутреннюю отделку помещений здания, расставляют в помещениях мебель, санитарно-техническое и другое необходимое оборудование помещений то есть выполняют и дизайнерские работы по внутреннему интерьеру помещений запроектированного здания.

Студенты проектируют также и наружное оформление участка строительства здания – проектируют на участке необходимые ограждения, тротуары и дорожки, пандусы для въезда автомашин в гаражные боксы, озеленение участка, спортивные площадки, площадки для отдыха и игр то есть выполняют дизайнерские работы по наружному интерьеру здания, включая и наружную отделку самого здания.

После выполнения основных необходимых файлов проекта студенты оформляют четыре файла 3D-проекции здания – общий вид здания со стороны главного фасада, общий вид со стороны дворового фасада, вид здания без наружных стен с показом оформления внутреннего интерьера помещений и вид на здание сверху с участком застройки.

В расчетной части проекта студенты выполняют компьютерные расчеты: теплофизический расчет стенового многослойного наружного ограждения, расчет фундамента здания по прочности грунтового основания, расчет монолитной железобетонной плиты перекрытия помещения гаражного бокса.

К защите курсового проекта студенты представляют пояснительную записку с компьютерными расчетами элементов конструкции здания и три чертежных листа формата А1: первый лист – планы первого и второго этажей, план подвала, план стропил крыши и спецификация помещений здания; второй лист – продольный и поперечный разрезы здания; третий лист – четыре 3D-проекции запроектированного здания.

Таким образом, на втором этапе изучения дисциплины студенты выполняют в лабора-

тории значительный объем проектной работы, изучая основы трехмерного проектирования зданий из объемных элементов и выполняя отдельные машинные расчеты строительных конструкций.

В III разделе дисциплины студенты в IX семестре более подробно изучают программные продукты компьютерных расчетов строительных конструкций.

На занятиях в компьютерном классе лаборатории студенты-гидротехники изучают основы автоматизированных расчетов строительных конструкций. Студенты знакомятся с особенностями, возможностями и составом решаемых расчетных задач в таких расчетных машинных комплексах и программ как: «Lira», «Monotakh», «Инженерный калькулятор», «SCAD Office», «NormCAD», «Base» и в некоторых других отдельных программах.

В ряде программных комплексов и программ студенты рассчитывают отдельные конструктивные строительные элементы, например, такие как: металлические фермы, металлические многопролетные и многоэтажные рамы, металлические балки, железобетонные многопролетные балки, монолитные плиты перекрытий, железобетонные ленточные и свайные фундаменты, а также выполняют теплофизические расчеты наружных стен и покрытий зданий. По этому разделу студенты выполняют одну контрольную работу по расчету отдельных элементов зданий и сооружений.

В IV разделе дисциплины также в IX семестре студенты изучают основы автоматизированного составления проектно-сметной документации. Студенты осваивают методику составления локальных и объектных смет в компьютерной программе GRAND Smeta. По этому разделу студенты выполняют одну контрольную работу по составлению машинного локального сметного расчета на строительство многоэтажного жилого здания, работая на компьютерах также в составе студенческих подгрупп.

Методика проведения всех учебных занятий по всем разделам дисциплины в компьютерном классе лаборатории автоматизированного проектирования имеет следующие особенности.

Для проведения всех учебных занятий по подгруппам используется в лаборатории компьютерная программа «NetOP Shool», которая была установлена на всех компьютерах лаборатории и позволяла проводить учебные занятия по принципу: «преподаватель-студент-делай как я».

При изучении какой-либо компьютерной программы преподаватель на экране монитора своего компьютера открывает основное рабочее окно программы и показывает основные возможности работы программы в динамике – курсор мыши перемещается по экрану, открываются необходимые окна различных опций, выполняются различные рабочие элементы программы по созданию проектной документации. В это же время на всех экранах мониторов студентов дублируются все действия преподавателя через локальную сеть, смонтированную в лаборатории. Студенты, молодые люди, обладающие в своем большинстве хорошей зрительной памятью, фиксируют работу преподавателя на экранах своих мониторов и при необходимости записывают порядок последовательности действий преподавателя в свои конспекты.

По окончании демонстрации основных возможностей работы компьютерной программы студенты могут уже более успешно работать самостоятельно в данной программе, естественно, совершенствуя свои навыки и возможности открывать для себя уже самостоятельно новые опции в работе программы при разработке учебной проектной продукции, выполняя задания по курсовым проектам и контрольным работам.

По всем изучаемым разделам дисциплины студенты работают в присутствии преподавателя, который имеет возможность контролировать выполнение учебной проектной компьютерной продукции или непосредственно на экранах мониторов студентов, обходя рабочие места лаборатории, или же переключив свой монитор компьютера на контрольную функцию преподавателя, позволяющую видеть действия любого из студентов при использовании программы «NetOP Shool» и сетевого оборудования лаборатории.

Кроме занятий в лаборатории в учебные часы по расписанию, студенты имеют возможность дополнительной работы на компьютерах в лаборатории в часы, предоставляемые студентам для самостоятельной работы во внеурочное время после основных занятий по специальному расписанию дополнительных занятий в лаборатории. Многие студенты используют эти дополнительные занятия для повышения своей компьютерной грамотности и для выполнения соответствующих проектных работ по учебной тематике лаборатории.

Такие особенности методики изучения дисциплины «Автоматизированное проектирова-

ние в строительстве», на наш взгляд, дают возможность комплексного подхода к изучению этой важной компьютерной дисциплины, охватывая все основные разделы автоматизированного создания современной архитектурно-строительной проектной продукции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА учебный план, учебная дисциплина
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Головачев Игорь Михайлович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

СТЕПЕНЬ ЗАЩИЩЕННОСТИ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.В. Турбинский, В.А. Хмелев

THE VULNERABILITY OF TRANSBOUNDARY WATER OBJECTS
«Novosibirsk state academy of water transports»
V.V. Turbinskij, V.A. Hmelev

The hygienic problems for estimation of water quality at the sources which basins is located in territory of adjacent regions or the states.

Keywords: border territory, transboundary water object, chemical and bacterial pollution, sanitary protection zone

Рассмотрены вопросы гигиенической оценки качества воды источников, бассейн которых расположен на территории сопредельных регионов или государств.

В настоящих условиях мировой ощутимой нехватки качественной пресной и питьевой воды (рисунок 1) реализация пограничной политики требует фундаментальной теоретической проработки, комплексной системы научного обеспечения всего процесса, связанного с обеспечением пограничной безопасности [1, 2]. «Пограничное пространство - особая социальная область, образовавшаяся на стыке соседних государств, в пределах которой проходят процессы и явления, обусловленные факторами границы и различиями в политической и социально-экономической жизни этих государств» [3].

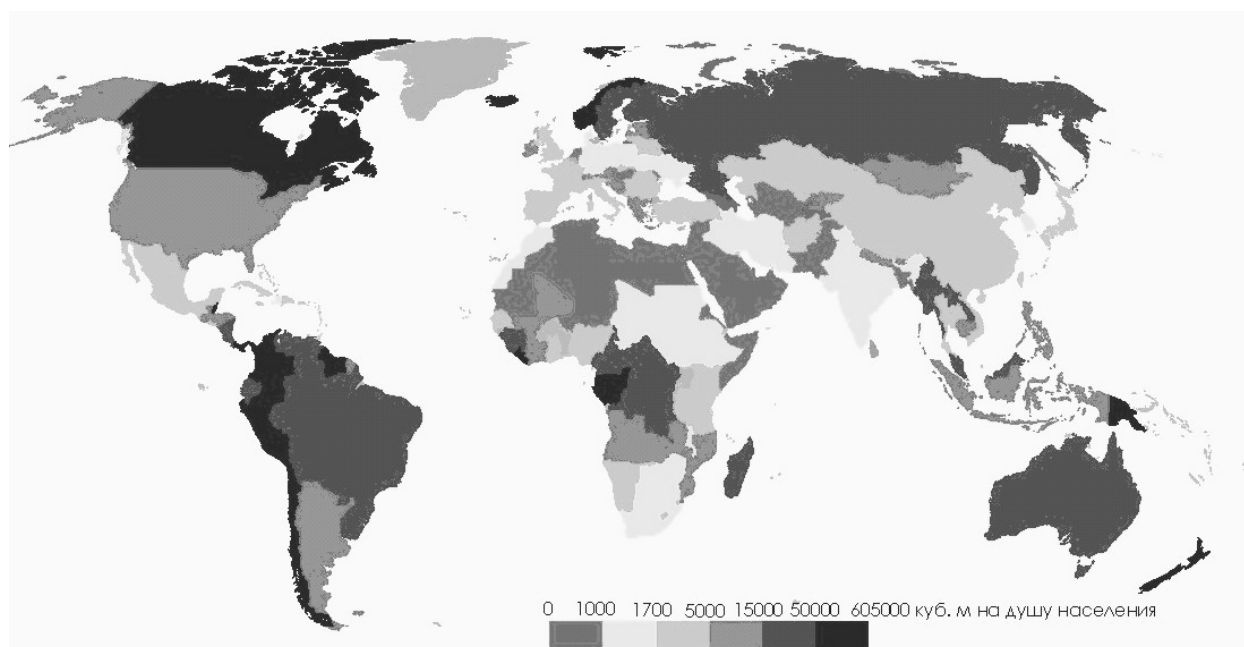


Рисунок 1 – Доступность ресурсов пресной воды по странам мира: сток рек и подземные воды (по данным World Resources 2000-2001, People and Ecosystems: The Fraying Web of Life. World Resources Institute (WRI), Washington DC, 2000)

В Российской Федерации из 200 речных бассейнов первого порядка (рек, впадающих в океан, море или озеро), 148 используются совместно двумя государствами и 52 являются источником водных ресурсов для 3-х – и более государств. Например, протяженность границы между Россией и КНР по реке Амур и ее притокам составляет 3,544 тыс.км (рисунок 2).

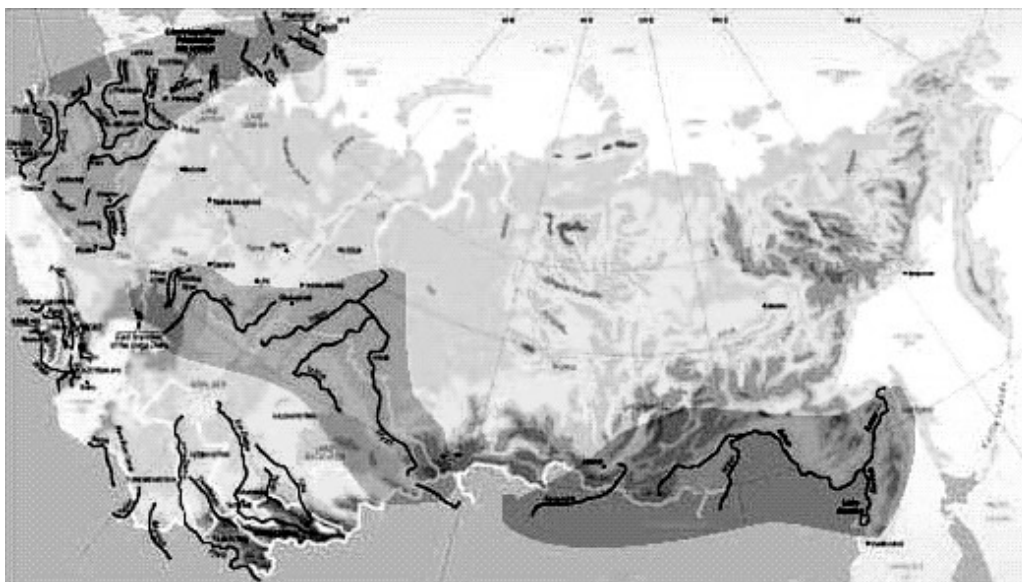


Рисунок 2 – Бассейны трансграничных рек России

Чтобы избежать возникновения конфликтов, сопредельные государства в своей деятельности по использованию вод пограничной реки руководствуются положениями «Конвенции об охране и использовании трансграничных водотоков и международных озер» 1992 года, заключенной в Хельсинки, а также общепринятыми принципами международного права [4].

Межрегиональное и приграничное сотрудничество в государствах должно основываться на принципах, учитывающих обеспечение безопасности жизни граждан, окружающей среды, экономическим и иным интересам государств, осуществляющих межрегиональное и приграничное сотрудничество в пределах действия национальной юрисдикции. Поэтому, к числу основных задач межрегионального и приграничного сотрудничества государств относятся: выработка алгоритмов взаимодействия систем предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций сопредельных государств, а также согласованной государственной политики в вопросах обеспечения безопасности жизни граждан, охраны окружающей среды, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций трансграничного воздействия на приграничных территориях. Так в соответствии с планом действий по реализации положений договора о добрососедстве, дружбе и сотрудничестве между Российской Федерацией и Китайской Народной Республикой [5] стороны продолжают налаживание сотрудничества в области совместного мониторинга качества трансграничных вод и предусматривают разработку Соглашения между Правительством Российской Федерации и Правительством Китайской Народной Республики о сотрудничестве в области охраны трансграничных вод.

Разработка гигиенических основ организации зон санитарной охраны для водопроводов питьевого назначения является обязательным требованием действующего законодательства в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации [6]. Определение границ зон санитарной охраны и разработка комплекса организационных, технических, гигиенических и противоэпидемических мероприятий осуществляется в зависимости от вида источников водоснабжения (подземных или поверхностных), проектируемых или используемых для питьевого водоснабжения, а также степени их естественной защищенности и возможного микробного или химического загрязнения.

Как известно, для трансграничных (межрегиональных) водных объектов весьма актуальным является обеспечение своевременной информацией о состоянии источника водопользования в створах выше по течению по отношению к месту водопользования и расположенных на сопредельной территории. Не своевременное представление информации в таких случаях уменьшает степень защищенности источника питьевого водоснабжения, так как не позволяет принять своевременные меры по гарантированному обеспечению доброкачественной питьевой водой. Очевидно, что защищенность источника водоснабжения напрямую зависит от количества источников сброса сточных вод в створах зоны санитарной охраны водоемистика, объема стоков и степени их загрязнения. Защищенность источников водоснабжения от влияния источников воздействия зависит и от гидрологических (геологи-

ческих), природно-климатических условий стока.

Таким образом, оценить степень защищённости источника водоснабжения можно представить в виде таблицы.

Таблица 1 – Степень защищённости источников водоснабжения

Степень защищённости	Информированность	Уровень вмешательства (доля загрязнённого стока)	Гидрогеологические условия	Климатические условия
Достаточная	-есть систематический обмен данными; -объём данных достаточен для комплексной оценки и прогноза	95-100% вмешательства зарегистрированными источниками воздействия	Соблюдение ПДС 100% источниками; 100% перекрытие артезианских вод	Все регионы
Условно достаточная	-есть систематический обмен данными; -объём данных достаточен для количественной оценки, не достаточен для прогноза	80-95% вмешательства зарегистрированными источниками воздействия	Соблюдение ПДС 100% источниками До 20% обмена между горизонтами вод	Муссонные области, с частыми обильными осадками
Не достаточная	-нет систематического обмена данными; -эпизодические данные достаточные для качественной оценки, недостаточные для прогноза	Менее 80% вмешательства зарегистрированными источниками воздействия	Соблюдение ПДС менее 100%; Более 20% обмена между горизонтами вод	Полярные области, зона вечной мерзлоты

В связи с этим, актуальным является научно обоснованная разработка классификации источников питьевого водоснабжения по степени защищённости, в том числе межрегионального и межгосударственного использования.

Потребности установления специальных режимов и реализации комплекса мероприятий, направленных на предупреждение ухудшения качества воды в водоисточниках, на территории сопредельных регионов и стран заставляют вводить на этих территориях особый режим совместной деятельности.

Для обеспечения межгосударственного взаимодействия на уровне субъектов, муниципальных образований и предприятий в разделе– «Требования к санитарной охране водных объектов» необходимо конкретизировать необходимость взаимодействия: Проведение строительных, дноуглубительных и взрывных работ, добыча полезных ископаемых, прокладка коммуникаций, гидротехническое строительство и любые другие работы, включая реабилитационные, на водоемах и в зонах санитарной охраны допускаются только при положительном заключении органов и учреждений государственной санитарно-эпидемиологической службы, а на водных объектах подверженных трансграничному влиянию стоков с территории сопредельных государств, в порядке, установленном Межгосударственными соглашениями.

На участках водных объектов подверженных трансграничному влиянию сточных вод с территории сопредельных государств меры для обеспечения санитарной охраны водного объекта должны осуществляться на основании Межгосударственных соглашений и включать в себя: контроль загрязнения водного объекта, информирование о загрязнении вод, водоохранные мероприятия.

Реализация мер профилактической направленности заложенной в разработке нормативов предельно допустимого сброса необходимо распространить и на сопредельную территорию. На водных объектах подверженных трансграничному загрязнению сточными водами расчёт ПДС загрязняющих веществ должен предусматривать меры по регулированию ПДС на период аварийной ситуации на сопредельной территории в соответствии с Межгосударственным соглашением о регулировании охраны водных объектов, подверженных трансграничному загрязнению.

Критерии выбора приоритетных региональных показателей для контроля качества воды водных объектов внести дополнение в положение: в основе выбора приоритетных региональных показателей лежит ориентация на вещества, в наибольшей степени опасные для здоровья населения и наиболее характерные для сбрасываемых в водные объекты региона сточных вод, бассейна с учётом межрегиональных и межгосударственных отношений.

Ситуация, сложившаяся в результате аварийного загрязнения рек Сунгари и Амур в конце 2005 года, помимо перманентных угроз экосистемам трансграничных водотоков, обусловленных интенсивным развитием северо-восточных провинций Китая, выявила практическое отсутствие договорной базы двух стран, регулирующей вопросы двусторонних отношений в области природопользования, совместного использования и охраны трансграничных водотоков, предупреждения и действий в условиях трансграничного загрязнения.

Из-за нерешенности до настоящего времени целого ряда принципиально важных вопросов организационного характера, большинство проблем приграничного сотрудничества оказалось вне поля зрения Правительства Российской Федерации [7]. Особую обеспокоенность вызывает отсутствие правового механизма реализации Концепции приграничного сотрудничества в Российской Федерации. Федеральным законодательством не урегулированы принципиально важные вопросы приграничного сотрудничества: недостаточно четко определены полномочия органов власти всех уровней, в том числе органов местного самоуправления, при осуществлении ими широкого спектра приграничных связей.

Действующая редакция санитарных правил и норм «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения» (СанПиН 2.1.4.1110-02) не содержит указаний на необходимость включения их положений в межгосударственные соглашения по вопросам охраны водных объектов трансграничного использования, что существенно затрудняет работу по обеспечению санитарной охраны водных объектов и снижает её эффективность. Учитывая, что основной целью создания и обеспечения режима в зонах санитарной охраны является охрана источников водоснабжения от загрязнения, в действующем законодательстве нет четкого определения порядка обеспечения надёжной защиты источника водоснабжения от загрязнения.

Таким образом, с целью обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия водопользования населения трансграничных территорий должны быть установлены общие правовые основы организации водопользования населения и обеспечения гигиенических требований к выбору источников водопользования, условиям хозяйственной деятельности, организации контроля качества воды водоисточников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Основы пограничной политики Российской Федерации: указ Президента РФ от 5 окт. 1996 г. // Рос. газета. -1996. -7 окт.
- 2 О Концепции национальной безопасности Российской Федерации: указ Президента РФ от 10 янв. 2000 г. №24 // Собр. законодательства РФ. -2000. -№2. -Ст. 170.
- 3 Щербаков, А.С. Пограничная безопасность как составляющая национальной безопасности Российской Федерации / А.С. Щербаков // Правовое обеспечение пограничной безопасности России: материалы межведом. науч.-практ. конф. -М., 2001. -С. 15-16.
- 4 Конвенции об охране и использовании трансграничных водотоков и международных озер / ООН. -Хельсинки, 1992.
- 5 План действий по реализации положений договора о добрососедстве, дружбе и сотрудничестве между Российской Федерацией и Китайской Народной Республикой (2005-2008 годы).
- 6 Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения: СанПиН 2.1.4.1110-02. -М., 2002. -15 с.
- 7 О некоторых проблемах реализации концепции приграничного сотрудничества в Российской Федерации: постановление Совета Федерации Федер. Собр. РФ от 8 июня 2005 г. №183-СФ // Собр. законодательства РФ. -2005. -№24. -Ст. 2330.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА приграничные территории, трансграничный (межрегиональный) водный объект, химическое и биологическое загрязнение, зона санитарной охраны

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Турбинский Виктор Владиславович, канд. мед. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Хмелев Вячеслав Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

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

МОДЕЛЬ ОПЕРАТОРА В СИСТЕМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СУДНА

ГОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»

Г.Г. Холодов, В.И. Меньшиков

OPERATOR MODEL OF DYNAMIC VESSEL POSITIONING SYSTEM (DPS)

«Murmansk state technical university»

G.G. Kholodov, V.I. Menshikov

The operator model of dynamic vessel positioning system (DPS) for safe operation of the ship has been offered

Keywords: vessel, dynamic positioning, operator, model, safety

Составлена модель оператора в системе динамического позиционирования судна обеспечивающая безопасную эксплуатацию судна.

Освоение ресурсов Мирового океана на шельфовой его части требуют решения ряда научно-технических проблем, связанных с созданием принципиально новых технических средств и технологий, в частности методов и способов управления судами, оснащенными системой динамического позиционирования. Система динамического позиционирования, в общем, предназначена для:

- надежного непрерывного удержания судна (плавучего технического средства) относительно заданной опорной точки по координатам и курсовому углу;
- следования судна в автоматическом режиме по заранее заданной траектории.

Система динамического позиционирования является автоматизированным комплексом, включающим в себя энергетическую установку, движители и средства активного управления (подруливающие устройства), компьютеризированную систему управления и «человеческий элемент» – обслуживающий персонал.[1]

Система динамического позиционирования (СДП) всегда использует информацию от систем ориентации, работающих на разных физических принципах. При этом СДП обрабатывает непрерывно поступающую информацию от систем ориентации, формирует управления в энергоустановку и движительно-подруливающий комплекс, при помощи которых компенсируется суммарный вектор сил внешнего воздействия на судно (ветра, течений, волнения). Управления в энергоустановку и движительно-подруливающий комплекс обязательно подлежат контролю «человеческим элементом» – оператором СДП. Поэтому процесс безопасного позиционирования судна при выполнении, например, буровых работ на шельфовой части Мирового океана во многом зависит от правильного и адекватного поведения оператора системы динамического позиционирования [2, 3].

Модель оператора в системе динамического позиционирования судна. Рассмотрим возникающую при динамическом позиционировании судна цепь, включающую базу данных, информационно обеспечивающую это позиционирование, вахтенного оператора, контролирующего выработанные СДП управления, и судно как объект управления (рисунок 1). Кроме того, в цепь включены обратные межэлементные связи, отражающие обязанности вахтенного оператора по управлению базой данных и судна как объекта управления, предъявляющего требования к действиям оператора по обеспечению безопасности позиционирования судна в целом (рисунок 1). С формальной точки зрения, такая информационно-силовая цепь может являться частью элементного множества иерархической структурно избыточной системы управления состоянием эксплуатации судна.

Для простоты дальнейшего изложения предположим, что вахтенный оператор (рисунок 1) руководствуется требованиями, которые проявляются в стремлении СДП к максимизации некоторой вещественной функции $f^r = f^r(\lambda, y)$, отражающей, например, надежность динамического позиционирования судна. Кроме того, пусть функция $f^r = f^r(\lambda, y)$ определена и непрерывна на компакте $\Lambda^r \times Y^r$, представляющего собой пространство «реакция судна $\lambda \in \Lambda^r$ – реакции системы СДП $y \in Y^r$ ». Кроме того, функция может быть реализована за счет выбора вектора $y \in Y^r$ обеспечивающего состояние безопасного позиционирования судна и принятого системой СДП по данным из базы (рисунок).

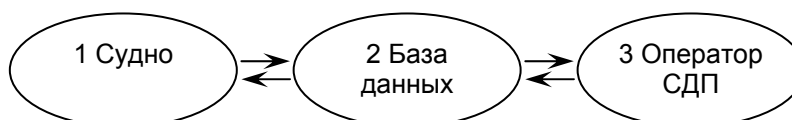


Рисунок – Система СДП

Естественно, что, конкретное поведение позиционируемого судна можно отождествлять с его стремлением к максимизации более общей непрерывной вещественной функции вида $\Phi^r = \Phi^r(\lambda, y)$, отражающей требования безопасного позиционирования в целом. Реализовать полностью функцию $\Phi^r = \Phi^r(\lambda, y)$ оператор СДП способен лишь за счет дополнительного учета реакции судна $\lambda \in \Lambda^r$, где Λ^r – можно принять за произвольный компакт банахова пространства. Такое допущение позволяет, в частности, рассматривать в качестве управляющих запросов судна λ функцию вида $\lambda = \lambda(y)$. Порядок выбора всех указанных переменных при динамическом позиционировании с помощью базы данных в рассматриваемой информационно-силовой цепи может быть следующим. Сначала база данных отражает реакцию судна на действие окружающей среды $\lambda \in \Lambda^r$, а затем уже СДП, при известной реакции λ реализует выбор управления $y \in Y^r$. Далее можно предположить, что оператор СДП знает параметрические представления функций Φ^r, f^r и множеств Λ^r, Y^r , но в тоже время не располагает точной информацией об истинном состоянии безопасности позиционирования судна, отображаемом в базе данных и воспринимаемом его оператором СДП. Поэтому будем считать, что состояние безопасности позиционирования, отображаемое и воспринимаемое оператором СДП при заданных психофизических показателях последнего, определяются значением вектора r , которое отражает характер и параметры взаимосвязи «оператора СДП-база данных». В тоже время при ведении контроля работы СДП оператору может быть известно лишь векторное множество $\Omega = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}, n < \infty$ возможного характера и возможных значений параметров модели взаимосвязей «оператора СДП-база данных».

Если в процессе позиционирования судна у оператора СДП появляется необходимость в получении недостающей информации, то передаваемые данные из базы этих данных могут быть пополнены в рамках использования оператором «встречного способа формирования данных», когда запрос на недостающие данные относительно реакции λ выбирается как функция вида

$$\lambda = \lambda^*(s); \lambda^* : \Omega \rightarrow \cup \Lambda^r; r \in \Omega,$$

с предварительным освидетельствованием оператором состояния интерфейса «оператор СДП-база данных» в виде векторной оценки $s \in \Omega$ истинного значения вектора r .

Тогда при контроле состояния позиционирования судна модель вахтенного оператора СДП с учетом состояния интерфейса «оператора СДП-база данных» можно записать так

$$K(r) = \max; \min \Phi^r(\lambda, y); \lambda \in \Lambda^r; y \in \text{Arg max } f^r(\lambda, y); y \in Y^r,$$

где $K(r)$ – функция восприятия базы данных оператором СДП.

Заключение. Составленная модель вахтенного оператора СДП основана на том, что этот оператор способен обеспечить максимально гарантированный результат в получении необходимой информации при условии полной его информированности относительно состояния интерфейса «оператор СДП – база данных» (в данном случае множество Ω должно состоять лишь из единственной точки $s = r$). Именно поэтому модель оператора СДП (1) позволяет получить оценку сверх эффективности любого механизма функционирования элементов «судно-вахтенный оператор СДП» при неполной информированности оператора о характере и векторном параметре состояния интерфейса «оператора СДП-база данных».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Правила классификации и постройки морских судов. В 2 т. Т. 2 / Рос. мор. регистр судоходства. -СПб. : Рос. мор. регистр судоходства, 2003. -619 с.
- 2 Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок

(ПБУ) и морских стационарных платформ (МСП) / Рос. мор. регистр судоходства. -СПб. : Рос. мор. регистр судоходства, 2001. -423 с.

3 Организация службы динамического позиционирования на судах РАО «Газпром» используемых при освоении морских нефтегазовых месторождений: РД 51-10-98 / ИРЦ Газпром. -М.: [б.и.], 1998. -25 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: судно, позиционирование, оператор, модель, безопасность

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Холодов Геннадий Григорьевич, аспирант ГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»

Меньшиков Вячеслав Иванович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13, ГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МОРСКИХ СУДОВ ДЛЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

ГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского»

Д.А. Оськин, В.В. Глазунов, С.А. Воробьева

SEA SHIPS MATHEMATICAL MODELS ANALYSIS FOR MOVEMENT CONTROL PROBLEMS

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

D.A. Os'kin, V.V. Glazunov, S.A. Vorob'jova

Review of mathematical models of marine moving objects, in particular, sea ships, is given. The model analysis takes into account the fields of application for control problem solving.

Keywords: sea-craft, management

Проведен обзор математических моделей морских подвижных объектов, в частности морских судов. Модели рассмотрены в зависимости от области применения для решения задач управления.

Создание и развитие современных систем управления морскими судами связано с необходимостью решения целого комплекса задач, связанных с моделированием, анализом и синтезом систем управления. Практическая реализация этих задач направлена на обеспечение безопасности мореплавания и сбережение ресурсов. Перечисленные задачи требуют разработки ряда адекватных математических моделей, описывающих динамику судов с учетом основных требований к режимам маневрирования.

С точки зрения теории управления можно выбрать две характерных задачи управления морским судном [1]:

– управление движением по линии маршрута (стабилизация на траектории), обеспечивающее перемещения морского судна по заданному маршруту без значительных отклонений от него;

– управление движением судна на курсе, которое состоит в формировании значений переключений руля, необходимых для обеспечения близости текущего курса заданному.

Большинство методов синтеза систем управления МС основано на использовании математической модели управляемого объекта. В настоящее время в литературе описан ряд математических моделей движения судна [1-5].

Общая структура математических моделей движения судна. Задача моделирования движения судна, очевидно, является частным случаем задачи моделирования управляемого движения твердого тела в пространстве.

Математическая модель динамики движения МС может быть представлена в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений [3, 4]

$$\dot{x} = F(x, \delta, f, t), \quad (1)$$

где x, δ, f – векторы переменных состояний МС, управляющих и возмущающих воздействий;

F – нелинейная вектор-функция.

Вектор состояния x , описывающий полное пространственное движение объекта, содержит 12 составляющих

$$x = [x_g, y_g, z_g, V_x, V_y, V_z, \theta, \phi, \psi, \omega_x, \omega_y, \omega_z]^T, \quad (2)$$

где x_g, y_g, z_g – пространственные координаты;

θ, ϕ, ψ – соответственно эйлеровы углы крена, рысканья и дифферента;

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – соответственно угловые скорости рыскания, бортовой и килевой качки;

V_x, V_y, V_z – скорости поступательного движения (продольного, вертикального, бокового сноса).

Для описания динамики МС также используется угол дрейфа β [3, 4].

Вектор δ составляют переменные величины, характеризующие эффективность соответствующих технических средств управления корабля. Внешние ветро-волновые возмущения, действующие на МС, определяют содержание вектора f .

Существующие математические модели движения судна можно условно разделить на три категории, выделив: а) нелинейные модели, б) частично линеаризованные модели, в) линейные модели.

Нелинейные модели. В сравнении с другими, этот тип моделей является наиболее сложным и представляет собой полную математическую модель движения судна.

Дифференциальные уравнения, описывающие динамику движения судна, представляют собой систему вида [3, 4]:

$$\begin{cases} m_x \dot{V}_x + m_z \omega_y V_z - m_y \omega_z V_y = R_x; \\ m_y \dot{V}_y + m_x \omega_z V_x - m_z \omega_x V_z = R_y; \\ m_z \dot{V}_z + m_y \omega_x V_y - m_x \omega_y V_x = R_z; \\ J_x \dot{\omega}_x = M_x; \\ J_x \dot{\omega}_y + \omega_x \omega_z (J_x - J_y) + V_x V_z (m_x - m_y) = M_y; \\ J_z \dot{\omega}_z + \omega_x \omega_y (J_y - J_x) + V_x V_y (m_y - m_x) = M_z, \end{cases} \quad (3)$$

где $V_{x,y,z}, \omega_{x,y,z}$ – линейные и угловые скорости;

$m_{x,y,z}$ – массы судна с учетом присоединенных масс;

$J_{x,y,z}$ – моменты инерции;

$R_{x,y,z}, M_{x,y,z}$ – главные векторы внешних сил и моментов.

Уравнения динамики (3) могут быть дополнены кинематическими соотношениями, связывающими соответствующие эйлеровы углы и пространственные координаты со скоростями [4, 5]:

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\psi} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = B_{\omega}^{-1} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \dot{x}_g \\ \dot{y}_g \\ \dot{z}_g \end{bmatrix} = B_V^{-1} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где $B_{\omega}^{-1}, B_V^{-1}$ – обратные кинематические матрицы вращательного и поступательного движений [3, 4].

Таким образом, полная математическая модель движения МС содержит 12 нелинейных дифференциальных уравнений, является сложной, и малоприспособна для аналитического исследования и синтеза систем управления МС. В связи с этим вопросы упрощения математического описания движения МС весьма актуальны.

Частично линеаризованные модели. Этот вид математических моделей движения МС наиболее распространен. Каждая из моделей может быть записана в двух формах – размерной, когда все величины представляются в общепринятых единицах измерения, и безразмерной (относительной).

Упрощенные модели получаются из исходного описания (3), (4) путем применения методики разделения движений. Как отмечается в [3, 4], существует две группы наиболее распространенных движений.

Первая группа получила название бокового движения, и включает боковой снос (или дрейф), рыскание и бортовую качку. Вектор состояния МС при боковом движении имеет вид:

$$x_B = [z_g \ V_z \ \phi \ \omega_y \ \theta \ \omega_x]^T \text{ или } x_B = [z_g \ \beta \ \phi \ \omega_y \ \theta \ \omega_x]^T.$$

Вторая группа определяет продольное движение МС и состоит из килевой качки, вертикального и продольного поступательных движений. Вектор состояния МС при продольном движении имеет вид

$$x_H = [\psi \ \omega_z \ y_g \ V_y \ x_g \ V_x]^T.$$

Как правило, перемещение судна рассматривается как движение в горизонтальной

плоскости с постоянной скоростью продольного движения. Для анализа такого движения используется модель, описывающая боковое движение.

Допущения к частной модели движения судна в горизонтальной плоскости при отсутствии ветро-волновых возмущений сформулированы в [3, 4]. На основании этих допущений линеаризованная математическая модель МС в общей форме может быть представлена в виде матричного дифференциального уравнения

$$\dot{x} = Ax + B\delta, \quad (5)$$

где A, B – матрицы связи, элементы которых могут зависеть от компонентов вектора состояния;

x – собственные координаты системы;

δ – вектор воздействия на систему (сигнал задания, помехи).

В конкретном случае модель в нормальной форме Коши может иметь вид [3]:

$$\begin{cases} \dot{\phi} = \omega_y \\ \dot{\omega}_y = a_{22}\omega_y + a_{23}\beta + b_{21}\delta \\ \dot{\beta} = a_{32}\omega_y + \bar{a}_{33}\beta + a_{30}|\beta| + b_{31}\delta \end{cases} \quad (6)$$

Коэффициенты уравнений в (6) зависят от скорости хода МС V_0 .

Уравнения, эквивалентные (6) могут быть выражены через скорость бокового смещения, используя соотношение $V_z = \beta V_0$ [3].

Для оценки величины бокового сноса систему уравнений (6) необходимо дополнить еще одним дифференциальным уравнением, которое при малых углах дрейфа и рысканья судна имеет вид [3]

$$\dot{z}_g = V_0(\beta - \phi). \quad (7)$$

Линейные модели. Одной из распространенных моделей описания движения судна на курсе является так называемая модель Номото 2-го порядка [4] и представляет собой дифференциальное уравнение вида

$$T_1 T_2 \ddot{\omega}_y + (T_1 + T_2) \dot{\omega}_y + \omega_y = k_c (\delta + T_0 \dot{\delta}), \quad (8)$$

где ω_y – скорость изменения курса судна;

δ – угол отклонения пера руля;

T_0, T_1, T_2, k_c – динамические параметры, которые зависят от линейной скорости судна.

Эта модель может быть упрощена и приведена к модели Номото 1-го порядка

$$T \dot{\omega}_y + \omega_y = k_c \delta, \quad (9)$$

где

$$T \approx T_1 + T_2 - T_0.$$

Приведенные линейные модели обычно используются для анализа управления движением судна по заданному курсу, а также синтеза систем управления движением судна на курсе.

Недостатками приведенных моделей является также отсутствие учета внешних воздействий на движение судна, а также то, что управление осуществляется только одним рулем при установившихся режимах работы движителя и линейной скорости судна.

Модели рулевой машины. Для полного представления о динамике морского судна требуется дополнить приведенные выше модели, (6)-(9), моделью рулевой машины. Подробно структура и уравнения рулевого привода рассмотрена в [1].

Необходимо отметить, что с учетом ограничений, наложенных на рулевые приводы (на максимальный угол поворота и скорость поворота пера руля), математическая модель рулевой машины может быть представлена в виде соотношения

$$\dot{\delta} = \text{Fun}[F(\delta_c) - \delta], \quad (10)$$

где δ_c – сигнал регулятора;

Fun, F – ограниченные функции.

Учет влияния внешней среды. Как правило, на судно действует ветро-волновое возмущение, вызванное погодными условиями и волнением моря. Модели такого возмущения могут быть представлены в виде суммы гармонических составляющих (сильное и наложенное на него слабое морское волнение) и постоянной составляющей (снос из-за ветра или течения)

$$f(t) = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i \sin(\omega_i t + \phi_i), \quad (11)$$

где A_0 – постоянная составляющая;

A_i, ω_i, ϕ_i – амплитуды, частоты и фазы гармонических составляющих морского волнения [3].

Заключение. В представленной работе выполнен краткий анализ существующих подходов к математическому моделированию движения судна как управляемой динамической системы, функционирующей в сложных изменяющихся условиях внешней среды, и основные классы задач, связанных с этими моделями. Для использования модели движения судна в системах управления в современных условиях наиболее предпочтительны полностью нелинейные модели. Однако построение универсальных нелинейных моделей для любых классов судов весьма затруднительно из-за их существенной сложности и недостаточного количества проведенных исследований.

Для преодоления трудностей, связанных с использованием нелинейных моделей, представляется перспективным использовать частично линеаризованную модель, полученную в результате применения подхода, связанного с разделением движений, либо использовать линейные модели.

В связи с этим дальнейшие исследования целесообразно проводить в направлении совершенствования математических моделей движения судов и проведение дополнительных вычислительных экспериментов с модифицированными математическими моделями на примере нескольких типов судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Вагущенко, Л.Л. Системы автоматического управления движением судна / Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. -2-е изд., перераб. и доп. -Одесса: Латстар, 2002. -310 с.
- 2 Гофман, А.Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна: справочник / А.Д. Гофман. -Л.: Судостроение, 1988. -360 с.
- 3 Лукомский, Ю.А. Навигация и управление движением судов: учебник / Ю.А. Лукомский, В.Г. Пешехонов, Д.А. Скороходов. -СПб.: Элмор, 2002. -360 с.
- 4 Лукомский, Ю.А. Системы управления морскими подвижными объектами: учебник / Ю.А. Лукомский, В.С. Чугунов. -Л.: Судостроение, 1988. -272 с.
- 5 Pomorski, J. Trajectory tracking control system for ship / J. Pomorski, L. Morawski, A. Rak // IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems – CAMS'07, Croatia, Sept/ember. - 2007. -P. 251- 255.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морское судно, управление

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Оськин Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «МГУ им. Г.И. Невельского»

Глазунов Вадим Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «МГУ им. Г.И. Невельского»

Воробьева Светлана Андреевна, аспирант ГОУ ВПО «МГУ им. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ГОУ ВПО «МГУ им. Г.И. Невельского»

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИВНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ МОРСКИХ СУДОВ

ГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского»

Д.А. Оськин, В.В. Глазунов

PERSPECTIVES OF ADAPTIVE REGULATORS APPLICATIONS IN MODERN CONTROL SYSTEMS OF SEA SHIPS MOVEMENT
«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»
D.A. Os'kin, V.V. Glazunov

Main problems of sea ships movement control are briefly considered in the paper. Classification of control systems and autopilots are given. Their drawbacks and advantages are discussed. Review of modern ship control systems is presented, as well.

Keywords: control system, sea-craft

Рассмотрены основные задачи управления морскими судами. Приводится классификация систем управления и авторулевых устройств, анализируются их недостатки и достоинства. Также в работе проводится обзор перспектив развития современных систем управления судном.

Одной из актуальных задач современной теории управления является задача управления сложным динамическим объектом в условиях неопределенности. Морские подвижные объекты и, в частности, морские суда (МС) относятся к классу таких неопределенных объектов. Неопределенность, наряду с существенной нелинейностью, нестационарностью динамического поведения системы, а также сложной динамикой взаимодействия с внешней средой приводит к тому, что математическая модель управляемого объекта на этапе разработки системы управления известна частично. Этот факт затрудняет решение задач синтеза систем управления МС традиционными методами.

Решения задачи управления для МС позволяет повысить уровень автоматизации и безопасности мореплавания, соблюдение временного графика переходов, экономию топлива, а также автоматизировать решение специальных задач судовождения, таких как съемка профилей рельефа дна и геофизических полей, обеспечение трубо- и кабелеукладочных работ и др.[2] Высококачественное управление МС также должно обеспечить эффективные энергетические показатели рулевой машины за счет минимизации нагрузки на механизмы по величине и количеству переключений руля, что приведет к повышению эксплуатационной надежности управляемой системы в целом.

Задачи управления морскими судами. Переход судна из одной точки поверхности в другую относится к сложным задачам управления. Она, как правило, разделяется на две в определенной мере самостоятельные задачи [2]:

- управление движением по заданной траектории (при движении с постоянной скоростью);
- управление скоростью хода.

Рассмотрим первую задачу более подробно. При упрощенном подходе задача управления траекторией и курсом может быть разделена на следующие составляющие:

- выбор (планирование) пути, его коррекция – планирование перехода и его коррекция в процессе движения;
- управление движением по линии маршрута (стабилизация на траектории) – обеспечение перемещения МС по заданному маршруту без значительных отклонений от него;
- управление движением судна на курсе – определение значений переключений руля, необходимых для обеспечения близости текущего курса к заданному.

Управление движением судна на траектории. Задача управления движением судна на траектории состоит в удержании судна на линии предварительно заданного маршрута при движении на полном морском ходу. Существенно также, что решение задачи стабилизации судна на траектории обеспечивает выполнение требований Международной морской организации (ИМО) к системам управления движением судов [2, 3].

Задача движения по траектории может быть разделена на две независимые составляющие:

- определение (планирование) курса следования, который должен стабилизироваться.
- компенсацию отклонений от постоянного или изменяющегося курса следования.

В последнем случае подзадача сводится к стабилизации судна на курсе с использованием авторулевых. Авторулевой с морским судном образуют объект управления движением на траектории – стабилизированное на курсе судно.

На рисунке 1 приведена схема традиционной системы управления движением морского судна по заданной траектории [2]. Она включает в себя два контура – подсистему стабилизации курса φ и систему, управляющую движением по траектории.

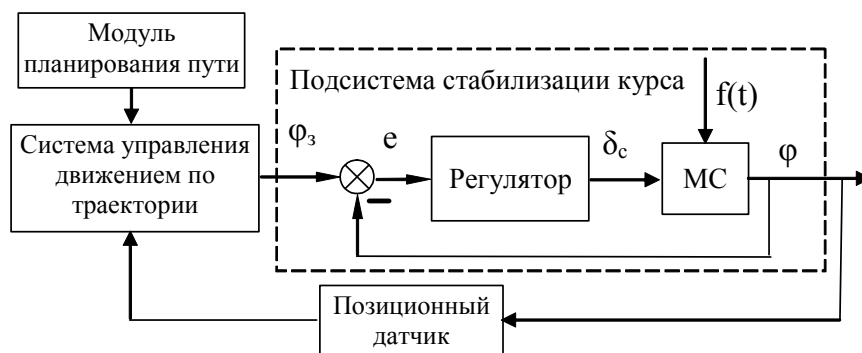


Рисунок 1 – Система управления движением судна по траектории

Управление движением судна на курсе. Управление движением судна на курсе – поддержание постоянного значения курса путем компенсации рулем отклонений от заданного значения. Основными

требованиями для системы управления при решении данной задачи являются следующие [2]:

- поддержка с требуемой точностью заданного значения курса;
- энергосберегающий режим рулевой машины (минимизация включений);
- минимизация отклонения руля по амплитуде;
- устойчивая работа без автоколебаний.

Как было отмечено ранее, для автоматической стабилизации курса на МС используются авторулевые устройства (АР). Основной задачей, решаемой авторулевыми, является стабилизация курса и выполнение поворотов. На некоторые АР также возлагают задачу определения курса следования в зависимости от заданного маршрута и отклонения судна от него.

Для большинства авторулевых устройств принцип действия основан на управлении по отклонению. Современные авторулевые разных модификаций реализуют пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон управления.

Традиционная система управления с ПИД-регулятором представляет собой классическую замкнутую систему, на вход которой поступает заданная величина курса φ_z и сравнивается с текущим значением курса ϕ . Величина рассогласования между заданной величиной и текущим значением курса $e = \varphi_z - \phi$ поступает в ПИД-регулятор, где формируется управляющий сигнал для приводов рулевой машины δ_c .

Как правило, настройка параметров регулятора производится при нормальных условиях эксплуатации (отсутствии внешних ветро-волновых возмущений $f(t)$).

Существенным недостатком использования традиционных систем управления является низкая эффективность и сложность ручной настройки параметров ПИД-регулятора при изменении параметров управляемого объекта или характера внешних возмущающих воздействий.

Для преодоления отмеченных недостатков возможным решением является применение адаптивных систем управления курсом судна. Адаптация предполагает автоматическую подстройку параметров или структуры регулятора для достижения цели управления.

Типовая схема адаптивного управления представлена на рисунке 2. При отклонении показателей системы от заданных проводится адаптация параметров ПИД-регулятора, с целью минимизации величины ошибки управления e .

В настоящее время уже разработаны и используются несколько типов адаптивных авторулевых с частичной или полной автоматической настройкой параметров регулятора при изменении внешних условий или скорости движения МС [1, 3, 4].

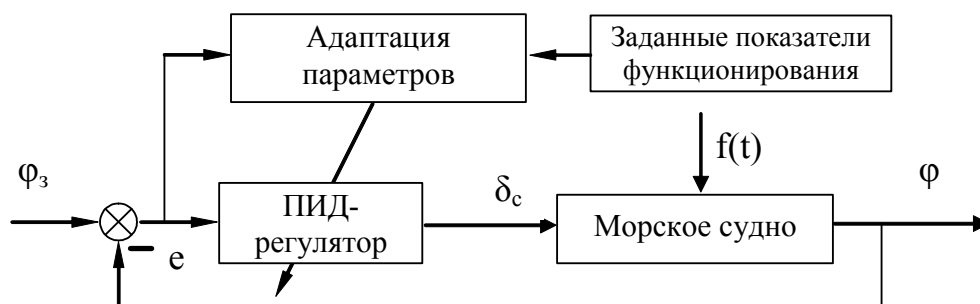


Рисунок 2 – Система адаптивного управления МС

Необходимо отметить, что основными требованиями для адаптивных АР стабилизации судна на курсе являются:

- обеспечение оптимальной в определенном смысле настройки параметров системы в режиме реального времени без участия человека-оператора;
- корректировка математической модели системы при изменении состояния объекта и внешних условий плавания.

Перспективы развития современных систем управления судном. Развитие современной теории управления привело к появлению новых современных методов синтеза систем и алгоритмов управления сложными динамическими объектами в условиях существенной структурно-параметрической неопределенности. В частности, можно выделить класс нелинейных алгоритмов, к которым относятся адаптивные, робастные и адаптивно-робастные методы управления.

Среди адаптивных систем выделяются разные схемы управления: с явной эталонной моделью по состоянию или по выходу, адаптивные системы с неявной моделью и адаптивные наблюдатели. Модификацией адаптивных алгоритмов можно считать робастные алгоритмы. Основная идея обеспечения робастности заключается в создании условий нечувствительности показателей качества системы по отношению к внешним возмущениям, паразитной динамике или нестационарным параметрам [1, 4, 7, 9].

Наряду с приведенными методами, необходимо отметить перспективные методы так называемых мягких вычислений (soft computing). Они связаны с использованием аппарата нейронных сетей (neural network) и нечеткой логики (fuzzy logic) [1, 4, 8, 11], ориентированных на управление неопределенными объектами.

Представляется перспективным использование в качестве модели судна нейронные сети, не требующие точного описания его динамики. Нейросетевая модель способна обучаться и выбирать в различных условиях эксплуатации такие значения своих параметров, при которых она наилучшим образом справляется с поставленной задачей.

Применение аппарата нейронных сетей и нечеткой логики, обобщающих концепцию адаптации, для синтеза систем управления успешно зарекомендовало себя в разнообразных областях автоматического управления, таких как управление роботами, подводными аппаратами, и также может быть эффективно использовано в системах управления морскими судами [10, 11].

Заключение. Таким образом, направление, связанное с разработкой систем управления, обеспечивающих движение судна по заданной траектории, удержание на заданном курсе в условиях изменяющихся погодных факторов, ограниченности маневра и интенсивности движения, оперативная автоматическая коррекция выбранного пути и скорости движения является перспективным и может быть связано с развитием адаптивных и других современных систем управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Антонов, В.Н. Адаптивное управление в технических системах: учеб. пособие / В.Н. Антонов, В.А. Терехов, И.Ю. Тюкин. -СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2001. -244 с.
- 2 Вагущенко, Л.Л. Системы автоматического управления движением судна / Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. -2-е изд., перераб. и доп. -Одесса: Латстар, 2002. -310 с.
- 3 Дмитриев, С.П. Задачи навигации и управления при стабилизации судна на траектории / С.П. Дмитриев. -СПб.: Электроприбор, 2004. -160 с.
- 4 Дыда, А.А. Адаптивное и нейросетевое управление сложными динамическими объектами / А.А. Дыда. -Владивосток: Дальнаука, 2006. -149 с.
- 5 Лукомский, Ю.А. Навигация и управление движением судов: учебник / Ю.А. Лукомский, В.Г. Пешехонов, Д.А. Скороходов. -СПб.: Элмор, 2002. -360 с.
- 6 Лукомский, Ю.А. Системы управления морскими подвижными объектами: учебник / Ю.А. Лукомский, В.С. Чугунов. -Л.: Судостроение, 1988. -272 с.
- 7 Никифоров, В.О. Адаптивное и робастное управление с компенсацией возмущений / В.О. Никифоров. -СПб.: Наука, 2003. -282 с.
- 8 Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский; пер. с польск. И.Д. Рудинского. -М.: Горячая линия—Телеком, 2004. -452 с.: ил.
- 9 Фрадков, А.Л. Адаптивное управление в сложных системах: беспоисковые методы / А.Л. Фрадков. -М.: Наука, 1990. -296 с.
- 10 Dyda, A.A. Neural network control system for underwater robots / A.A. Dyda, D.A. Oskin // IFAC conference on Control Application in Marine Systems «CAMS-2004», Ancona, Italy. -Ancona, 2004. -P. 427-432.
- 11 Minimum time ship maneuvering using neural network and nonlinear model predictive compensator / N. Mizuno [et al.] // IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems—CAMS'07. Croatia, September. -2007. -P. 297-302.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система управления, морское судно

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Оськин Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «МГУ им. Г.И. Невельского»

Глазунов Вадим Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «МГУ им. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ГОУ ВПО «МГУ им. Г.И. Невельского»

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУДНА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА, КАК СПОСОБ ПЕРЕХОДА ОТ ВНЕШНЕЙ ЗАДАЧИ К ФОРМИРОВАНИЮ ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СУДНА И ИЕРАРХИИ ПОДСИСТЕМ

АОЗТ «Нептун-Судомонтаж»

М.Э. Францев

THE RESEARCH PROJECTING OF THE VESSEL FROM COMPOSITE MATERIALS WITH ELEMENTS OF CONCEPTIONS ANALYSIS IS THE MODE OF THE TRANSITION FROM OUTWARD PROBLEM OF THE PROJECTING TO FORMING LOGIC AND MATHEMATICS MODEL OF VESSEL AND ITS HIERARCHY OF SYSTEMS

«Neptun-Sudomontazh»

M.E. Frantsev

The article is about the mode of transition from outward problem to inside problem of projecting of vessel from composite materials. The vessel do not have home prototype. The mode uses the research projecting with the conceptions and mathematics analysis.

Keywords: the projecting of the vessel, composite materials, the research projecting, logic and mathematics model of vessel

Предложен способ перехода от внешней задачи проектирования к внутренней задаче проектирования судна из композиционных материалов, не имеющего в практике отечественного судостроения близких прототипов, при помощи стадии исследовательского проектирования, использующего методы концептуального и математического анализа.

Большую часть мирового малотоннажного промыслового, служебного и разъездного флота составляют суда, имеющие корпуса из неметаллических композиционных материалов. Однако в настоящее время суда этих типов в современной России проектируются и строятся в весьма ограниченных количествах, несмотря на объективно существующую в них потребность. Для ликвидации сложившегося отставания необходима разработка способов проектирования, учитывающая специфику создания судов из композитов.

С информационной точки зрения проектирование – это процесс последовательного преобразования входной информации об объекте проектирования в виде его функционального представления в выходную информацию в виде проектно-конструкторской и технологической документации. В процессе составления и преобразования описаний объекта проектирования используются также знания о рассматриваемой области и информация об опыте проектирования объектов аналогичного назначения.

Длительное время существовало традиционное представление при проектировании модели судна в виде некоторого набора функций. При попытке повышения степени детализации в описании структуры такой модели неизбежно возникают изменения в описании самой модели проектируемого судна. Существенно более сложные проблемы в изменении описания модели судна возникают при изменении его архитектурно-компоновочного типа и переходе от одной компоновочной схемы к другой в процессе поиска рациональных характеристик.

В соответствии с современными принципами проектирования судов любое судно может быть представлено как система, обладающая сбалансированной совокупностью проектных характеристик. Граница системы определяется совокупностью входов от окружающей среды. Окружающей средой является совокупность естественных и искусственных систем, для которых данная система не является функциональной подсистемой [3].

В настоящее время существует сложившееся с середины 70-х годов прошлого века разделение содержания теории проектирования судов на две взаимосвязанные, но самостоятельные задачи. Первая задача – разработка круга вопросов, связанных с определением характеристик судов, указываемых в задании на проектирование (задача по разработке задания). Вторая задача – разработка круга вопросов, связанных с определением элементов проектируемых судов (задача по разработке проекта) [3-5]. При рассмотрении внешней задачи, как правило, используются среднестатистические данные по уже построенным судам, а при разработке внутренней задачи применяется техническое задание, уже вобравшее в себя черты прототипа.

При создании перспективных типов судов, не имеющих близких прототипов в практике отечественного судостроения, например, судов из композитов, необходимо связующее звено между внешней и внутренней задачами проектирования таких судов. Это связующее зве-

но необходимо для обоснования различных аспектов задачи применения судна и координации их решения с задачами макроэкономики и микроэкономики. Использование приемов исследовательского проектирования на базе методов концептуального анализа в процессе проектирования нового для проектанта типа судна позволяет преодолеть разрыв между имеющимся у разработчика опытом проектирования и технической эксплуатации других судов – с одной стороны, а с другой – экономически и технологически обоснованными требованиями, предъявляемыми к новому проекту.

Использование методов концептуального анализа на базе научного анализа и оптимизации позволяет не только заимствовать положительный опыт существующих отечественных или зарубежных разработок, но, при этом, вести осознанный поиск передовых решений в области методологии проектного поиска. При этом рассматриваемыми задачами являются:

- разработка методов сопоставления объектов по технико-экономической эффективности при разных условиях предпочтительности ряда параметров;
- проверка применимости вновь получаемых научных данных на гипотетическом ряде проектов с учётом реальных возможностей отечественного судостроения;
- определение научных проблем, решение которых позволяет значительно улучшить эксплуатационные качества судов.

Основной задачей, реализуемой при помощи концептуального анализа, является разработка принципов, положений и подходов, отражающих технико-экономические, эксплуатационные, технологические и другие значимые условия, сопутствующие созданию судна, и дающие возможность применения методов количественного анализа. Содержание концептуального анализа составляют неформализуемые методы, способы и приемы, приводящие к постановке задачи исследовательского проектирования с использованием методов математического моделирования. В этом смысле теория концептуального анализа представляет собой частный раздел теории проектирования. Она опирается на результаты исследований, проводимых с целью оценки эксплуатационных, технических и других особенностей судов аналогичных размеров и назначения, строящихся в мире, а также эксплуатационных качеств судовых комплектующих. При этом учитываются, как результаты анализа, конвенционные и другие ограничения, налагаемые на проект, требования надзорных органов и ряд других обстоятельств. Итогом этой работы становится применение некоторых балансирующих механизмов, которые позволяют свести результаты частного анализа в ряд концептуальных положений общего характера, формулирующих замысел создания перспективного судна.

Наряду с решением основной задачи концептуального проектирования, связанной с формированием, собственно, концепции будущего судна, другим значимым результатом концептуального анализа является система договоренностей, правил, условий и ограничений, позволяющих сформировать поле исходных данных для последующих расчетов. Здесь результатом концептуального анализа также могут быть и сами исходные данные. Иными словами, другой задачей концептуального анализа является подготовка всего процесса проектирования к широкому применению формального инженерного вычислительного аппарата [1].

Совокупность частных результатов, более общих воззрений и некоторых количественных оценок должна обладать определенным интегрирующим эффектом, под которым понимается общее видение замысла будущего проекта, его места в сложившихся структурах эксплуатации флота. Этот результат в большой степени определяет рыночные перспективы проекта судна из композитов.

Предметом исследовательского проектирования в данном случае является совокупность эксплуатационных качеств судна, рассматриваемая с точки зрения реализации его целевых функций при техническом и экономическом обосновании целесообразности их реализации, с целью выбора варианта (или вариантов) судна, наиболее предпочтительного в смысле эффективности решения поставленных задач и возможности его эксплуатации в существующих условиях. Рассматривая исследовательское проектирование как единый процесс, можно выделить три его основные направления: формирование требований к судну, синтез облика судна и анализ его элементов.

Исследовательское проектирование с применением методов концептуального анализа характеризуется общей методологией решения задач, связанных с созданием судов и их комплектованием. Основой этой методологии является комплексное исследование эксплуатационных качеств судна, как сложной технической системы, и поиск оптимального варианта

с учетом использования судна индивидуально или в комплексе с другими судами и плавучими объектами.

Целью исследовательского проектирования с применением методов концептуального анализа применительно к процессу проектирования судна из композиционных материалов является решение следующих задач:

- обоснование направления развития типов судов на перспективу с учетом достижений научно-технического прогресса;
- разработка заданий на проектирование судов, увязанных с внешней задачей проектирования;
- выявление областей, в которых должны разрабатываться общие требования к проектированию судов рассматриваемых типов и обоснование этих требований;
- обоснование направлений развития комплектования судов.

В настоящее время теория проектирования интенсивно развивается, что связано с высокими темпами технического прогресса. Создаются разнообразные виды судовых комплектов, которые позволяют существенно расширить эксплуатационные возможности судов. Широкое использование методов математического моделирования обусловило внедрение в исследовательское проектирование всего разнообразия аппарата математического анализа. При этом цена ошибок, допущенных на ранних стадиях принятия решений, многократно увеличивается по мере совершенствования и удорожания судов. Структура исследования вновь создаваемых проектов судов с использованием методов концептуального анализа включает шесть этапов:

- формирование модели и подготовка к исследованию;
- проведение цикла расчетов и исследований;
- предварительная оценка результатов;
- корректировка модели и/или используемых для исследований данных в рамках внешней задачи и определенных целевых функций;
- проведение проектных проработок, включая графическую часть;
- разработка технико-экономического обоснования.

При этом, формирование модели исследования охватывает следующий круг вопросов:

- выработки концепции проектируемого судна с использованием формальных и неформальных методов и оценок;
- определения задач, которые предполагается решать за счет эксплуатации разрабатываемого судна;
- определения перечня основного оборудования судна, включающего комплекс целевого использования, разработки модели применения, в рамках которой предполагается эксплуатировать создаваемое судно;
- уточнения состава задач, разработки требований к математической модели судна, выбора и формирования критериев технико-экономической оценки;
- выбора и/или назначения независимых варьируемых параметров, формирования программной реализации математической модели проектируемого судна совместно с моделью его эксплуатации;
- формирования структуры информационной модели в соответствии с полученной реализацией математической модели и наполнением ее данными.

При составлении проектного замысла создания судна необходимо ответить на целый ряд вопросов. Поэтому проблема сбора и обработки исходной информации занимает важное место в концептуальном анализе. Эта информация может быть представлена как множеством научных фактов, количественных и качественных данных, знаний о наблюдаемых процессах и явлениях, так и результатами их обработки: анализом, обобщением и выявленными закономерностями, прогнозируемыми тенденциями развития. Иными словами, результаты обработки исходной информации также представляют собой информацию, но более высокого качества. [1]

Выполнение проектных проработок и технико-экономического обоснования обычно проводится в виде спирального цикла, в процессе которого уточняются следующие аспекты:

- задание граничных условий для варьируемых характеристик, корректировка постоянных расчета и ряда статистических коэффициентов в соответствии с принятыми граничными условиями;
- задание (изменение) состава комплектования очередного варианта проектируемого судна;

- корректировка базы данных комплектующих элементов по результатам предыдущих циклов исследования;
- задание (или корректировка) архитектурно-компоновочной схемы судна и элементов его подсистем;
- проведение расчетов по определению эксплуатационных характеристик и технико-экономических показателей варианта проектируемого корабля;
- получение графического изображения архитектурно-компоновочных схем и схем размещения основных компонентов судна.

При этом существует проблема избирательности и достоверности используемой информации. Концептуальное исследование начинается с подготовки исходных данных, которые являются основой всего последующего анализа. В качестве исходных данных могут выступать: описание в виде качественных характеристик предполагаемых районов эксплуатации судов, осуществляющих реализацию аналогичных задач в рассматриваемых районах; статистические характеристики этих судов; результаты выводов промежуточного анализа.

При этом основными моментами являются сбор и верификация исходных данных, упорядочение и накопление формируемой информации.

Поэтому одним из важнейших способов, применяемым для восстановления недостающих данных при концептуальном анализе, являются законы и закономерности широкого спектра кораблестроительных дисциплин. При этом необходимо учитывать, что по мере смещения исследования в область концептуального анализа точность получаемой количественной информации и надежность качественных характеристик будут неизбежно снижаться. Поэтому в качестве дополнения необходимо использовать синтетические методы теории принятия решений или других разделов системного анализа. Так, при определении необходимого уровня точности вычисления, например, водоизмещения, критерием должна служить не относительная погрешность в определении этой величины, а лишь тот порог, превышение которого могло бы привести к качественному изменению вывода выполняемого анализа. Такой подход в теории принятия решений получил название определения параметра с точностью до альтернативы. При определении необходимого уровня точности информации, используемой при концептуальном проектировании, возможно использование и таких свойств сложных систем, как симметрия, сбалансированность и др. [1, 2].

Одной из важных проблем концептуального анализа является классификация данных и комплексов данных. В рамках решения задачи упорядочения исходной информации и верификации данных, важным этапом является отнесение исследуемого судна к тому или иному типу. Этот этап особенно важен еще и потому, что он представляет собой не только уточнение исходных данных, но и является начальным этапом подготовки к проведению анализа по аналогии, поскольку тип судна представляет собой признак одного из наиболее характерных свойств, на которое во многом определяется весь последующий анализ. Этот анализ опирается как на временные факторы существования объекта исследования, так и на его распространение в одном временном срезе среди собственно изучаемых объектов и объектов близких областей исследований, которые могли бы послужить аналогами изучаемому объекту.

Таким образом, способом перехода от внешней задачи к внутренней задаче проектирования судна из композиционных материалов, не имеющего в практике отечественного судостроения близких прототипов, является стадия его исследовательского проектирования, использующего методы концептуального и математического анализа. При этом оно опирается на использование комплексов данных о предполагаемых районах эксплуатации, статистических характеристиках судов - прототипов, осуществляющих реализацию аналогичных задач, а также результаты выводов промежуточного анализа, которые надлежащим образом собраны, упорядочены и прошли процедуру верификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Захаров, И.Г. Концептуальный анализ в военном кораблестроении / И.Г. Захаров. - СПб.: Судостроение, 2001. -264 с.
- 2 Захаров, И.Г. Обоснование выбора. Теория практики / И.Г. Захаров. -СПб.: Судостроение, 2006. -527 с.
- 3 Пашин, В.М. Оптимизация судов / В.М. Пашин. -Л.: Судостроение, 1983.
- 4 Царев, Б.А. Модульные задачи в проектировании судов / Б.А. Царев. -Л.: Ленингр. ко-

раблестроит. ин-т, 1978. -96 с.

5 Царев, Б.А. Оптимизационное проектирование скоростных судов / Б.А. Царев. -Л.: Ленингр. кораблестроит. ин-т, 1988. -102 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: проектирование судов, композиционные материалы, исследовательское проектирование, концептуальный анализ, логико-математическая модель

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Францев Михаил Эрнстович, канд. техн. наук, директор АОЗТ «Нептун-Судомонтаж»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 141703, Московская область. г. Долгопрудный, пос. Водники, АОЗТ «Нептун-Судомонтаж»

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫХОДА СУДНА ИЗ ЗОНЫ РЕЗОНАНСНОЙ КАЧКИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.П. Умрихин, С.В. Петровский

THE SOFTWARE FOR THE PROBLEM'S SOLUTION OF VESSEL'S EXIT FROM RESONANCE ZONE ROLLING AND PITCHING
«Novosibirsk state academy of water transport»

V.P. Umrikhin, S.V. Petrovskiy

The scientific article mentions a problem of modern use of storm diagrams in ship conditions. In practice creation of a program method for problem's solution of vessel's exit from resonance zone rolling and pitching is shown.

Keywords: software, vessel, resonance, rolling, pitching

Научная статья затрагивает проблему современного использования штормовых диаграмм в судовых условиях. На практике показано создание программного способа решения задачи по выходу судна из опасных зон резонансной качки.

К настоящему времени проблема создания программного обеспечения для решения задачи по выходу судна из зоны резонансной качки весьма актуальна, несмотря на многочисленные работы в данной области. Дело в том, что все эти работы ведутся конструкторскими бюро, либо на стадии проектирования судна, либо же в процессе его эксплуатации, но для конкретного типа судна. В то время как универсальных программ для расчета резонансных зон практически не существует, либо, если и существуют, то используются они в рамках одной судоходной компании. Например, программа «Статика», позволяющая оценивать мореходные качества судна в штормовых условиях, применяется только на однотипных судах «Мурманского морского пароходства» и дочерней ее компании «NB».

На этапах создания программного обеспечения производится полная количественная и качественная оценка как параметров волнения, так и параметров качки судна на волнении. Зачастую расчет связан с определенными вычислительными трудностями, поэтому для практической оценки периодов собственных колебаний судна часто используются приближенные формулы. Судоводитель в процессе несения ходовой вахты не в состоянии производить сложные математические расчеты, которые без труда могут решаться в конструкторских бюро. Исходя из этого, большинство формул, применяемых для расчета периодов качки судна, были упрощены для практического использования всеми без исключения пользователями. Например, формула для расчета собственного периода бортовой качки имеет вид

$$\tau_{\theta} = cB / \sqrt{h_0} . \quad (1)$$

Эта формула широко используется для приближенной оценки периода бортовой качки не только в проектных расчетах, но и в практике судовождения, поэтому ее иногда называют «капитанской» формулой. Входящий в нее коэффициент C можно определить по рекомендации Международной морской организации (ИМО), приведенной в «Кодексе по остойчивости судов всех типов» и имеющей вид [1]

$$c = 0,746 + 0,046 \frac{B}{T} - 0,086 \frac{L}{100} , \quad (2)$$

где B — ширина судна, м;

T — осадка судна, м;

L — длина судна, м.

Создание программного обеспечения подобного рода для различных типов судов обусловлено не только их отсутствием или недостатками имеющихся программ, но, даже в

большей мере участвовавшими случаями ненадлежащего или формального отношения судоводительского состава к решению задач по выходу судна из резонансных зон качки.

Стоит акцентировать внимание на том случае, когда при штормовом плавании периоды волны и свободных колебаний судна совпадают $\tau_k \sim \tau_c$ – наступает основной резонанс, также существует параметрический резонанс – $\tau_k \sim \tau_c/2$.

Бортовая качка с большими амплитудами чревата смещением груза, потерей остойчивости и опрокидыванием судна.

Килевая качка в сочетании с прямым воздействием волн может привести к перелому корпуса, или к местным повреждениям корпуса, или к нарушению нормальной работы корабельных конструкций, устройств и механизмов из-за наклонов корабля при качке и дополнительных инерционных нагрузок. Проявляется воздействие волн и качки в виде днищевого и ботового слеминга, заливания палубы, вибрации корпуса, снижения скорости судна, разгона винта, рыскания судна на курсе, смещения груза в трюмах и на палубе, смыва или вываливания палубного груза за борт, обледенения судна при заливании в условиях отрицательных температур. Наибольшее влияние килевой качки на судно проявляется в виде слеминга, заливания и разгона винта.

При плавании на попутном волнении при условии близости длины волны и длины судна, возникает опасность снижения поперечной остойчивости, а также захвата судна попутной волной и разворот его лагом к волне с последующим опрокидыванием судна.

Ускорения и амплитуды отрицательно сказываются на обитаемости корабля вследствие вредного физиологического влияния качки на состояние людей – работу их вестибулярного аппарата, приводящего к общеизвестной морской болезни.

Целью данной статьи является представление универсальной программы для расчета резонансных зон качки и рекомендаций по выходу из этих зон.

Программное обеспечение должно быть создано на основе имеющихся универсальных штормовых диаграмм, к которым относятся: штормовые диаграммы Власова В.Г.; универсальные штормовые диаграммы Ремеза Ю.В.; универсальная диаграмма резонансной качки УДРК-98, а также способ Чудова решения задачи на маневренном планшете. Эти диаграммы получили наибольшую распространенность как раз ввиду их универсальности.

Стоит отметить, что также существуют и штормовые диаграммы, построенные для определенных типов судов и условий плавания. Например, диаграммы выбора безопасных скоростей и курсовых углов при штормовом плавании на попутном волнении (диаграммы Богданова А.И.) или штормовые диаграммы Липиса В.Б. и Кондрикова Д.В., которые составлены с учетом различных гидрометеорологических параметров и характеристик корпуса судна. Вследствие ограниченности применения данных диаграмм для различных типов судов и различных условий плавания они не могут быть заложены в основу создания универсального программного обеспечения.

В основу создания нижеописанного программного обеспечения положена универсальная диаграмма резонансной качки УДРК-98. Все известные диаграммы и способы решения задачи резонансной качки судна основаны на решении уравнения кажущегося периода волны

$$\tau_k = \frac{\lambda}{c + v \cos q} \quad (3)$$

Для упрощения анализа ситуации с резонансной качкой удобно привести (3) к безразмерному виду введением безразмерной длины волны Λ и безразмерной скорости V . Не вдаваясь в подробности всех преобразований, формула (3) примет вид

$$V \cos q = \Lambda - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\Lambda}, \quad (4)$$

Вид уравнения (4) определяет удобную форму диаграммы резонансной качки. В левой части уравнения – проекция безразмерной скорости V на направление движения волн, относительно которого судно движется под курсовым углом q . В правой части – однопараметрическая функция от безразмерной длины волны Λ , определяющая условие резонанса качки [2].

Принимая во внимание проблему сложности решения безразмерного уравнения (4) в процессе несения ходовой вахты и как следствие сложности использования УДРК-98 без предварительных расчетов, было разработано программное обеспечение для решения за-

дачи выхода судна из зоны резонансной качки на базе универсальной диаграммы резонансной качки, предложенной В.И. Сичкаревым.

Разработанное программное обеспечение позволяет судоводителю при вводе минимальной необходимой информации получить рекомендации по выходу из зоны резонансной качки путем изменения скорости или курсового угла по отношению к волнению.

В качестве исходных данных вводятся следующие характеристики по судну:

- L — длина судна расчетная, м;
- B — ширина судна расчетная, м;
- T — осадка средняя, м;
- δ — коэффициент общей полноты водоизмещения судна;
- α — коэффициент полноты площади ватерлинии;
- V — скорость судна, узлы;
- h — начальная поперечная метацентрическая высота, м;
- GKK — гирокомпасный курс судна, град.;
- ΔGK — поправка гирокомпаса, град.

В качестве исходных данных по волнению вводятся следующие параметры:

- λ — длина волны, м;
- q — курсовой угол волны, град.;
- τ_k — средний кажущийся период волн, с.

Вид окна приложения представлен на рисунке.

Программа тестировалась для судов смешанного (река-море) плавания проектов №15790 и №17310.

При выборе судов данного проекта были учтены следующие обстоятельства:

— для исследования необходимо выбирать суда смешанного (река-море) плавания, судоводительский состав которых в значительной мере укомплектован специалистами ВВП;

— по проекту на судах данного типа не предусмотрен автоматизированный комплекс контроля мореходности, что, в свою очередь, требует особого отношения судоводительского состава к решению задач по выходу судна из резонансных зон качки.

При заданных параметрах волнения и для варианта полной загрузки судна были произведены расчеты по нахождению судна в зоне резонансной качки с дальнейшим решением задачи по выходу из опасной зоны резонанса. При ручном варианте расчета применялась универсальная диаграмма резонансной качки УДРК-98. Результаты, полученные при решении задачи на УДРК-98 и с помощью программного метода оказались тождественными, исходя из чего можно сделать вывод о корректной работе программы.

Исходные данные по судну		Исходные данные по волнению					
Длина расчетная, м.	93.5	Длина волны, м.	50				
Ширина расчетная, м.	13.4	Курсовой угол волны, град.	50				
Осадка средняя, м.	4.6	Средний кажущийся период волн, сек.	7				
Скорость судна, узлы	11	Рекомендуемые параметры курса судна и скорости для выхода из зоны резонансной качки <table border="1"> <tr> <td>Рекомендуемая скорость при сохранении курса, узлы</td> <td>12,9</td> <td>Рекомендуемый курс судна при сохранении скорости, градусы</td> <td>58,7</td> </tr> </table>		Рекомендуемая скорость при сохранении курса, узлы	12,9	Рекомендуемый курс судна при сохранении скорости, градусы	58,7
Рекомендуемая скорость при сохранении курса, узлы	12,9			Рекомендуемый курс судна при сохранении скорости, градусы	58,7		
Коэффициент общей полноты водоизмещения	0.84						
Коэффициент площади ватерлинии	0.85						
Начальная поперечная метацентрическая высота, м.	1.61						
Гирокомпасный курс судна, град.	51						
Поправка гирокомпаса, град.	-1						

ПУСК

Рисунок — Интерфейс приложения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Луговский, В.В. Качка корабля: учеб. для вузов по направлению «Кораблестроение и океанотехника» и спец. «Кораблестроение» / В.В. Луговский. -СПб.: СПб ГМТУ, 1999. -424 с.: ил.

2 Сичкарев, В.И. Использование в судовождении гидрометеорологической информации / В.И. Сичкарев. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2000. -176 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: программное обеспечение, судно, резонанс, качка судна
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Умрихин Виктор Павлович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»
 Петровский Сергей Владимирович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

АДАПТАЦИЯ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА К УСЛОВИЯМ ОПЫТОВОГО БАСЕЙНА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.В. Вьюгов, М.Н. Романов

ADAPTATION OF A FREQUENCY ELECTRIC DRIVE TO CONDITIONS OF DEVELOPMENT POOL

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.V. Vjugov, M.N. Romanov

In article ways of adjustment of a control system are resulted by speed of moving of the cart of development pool NSAWT.

Keywords: frequency electric drive, adjustment of a control system by speed

Приведены способы настройки системы управления скоростью перемещения тележки опытового бассейна НГАВТ.

До настоящего времени требования, которым должен удовлетворять привод тяговой тележки прямого опытового бассейна НГАВТ, определялись исходя из конкретных задач, возникающих при проведении эксперимента.

Как известно, при физическом моделировании судов соблюдается равенство чисел Фруда модели и натуры, что определяет равенство коэффициентов волнового сопротивления при соответствующих скоростях и обеспечивает турбулентный режим движения частиц воды в пограничном слое модели. Прогнозирование сопротивления моделируемого судна осуществляется путём пересчёта сопротивления, определённого при испытаниях модели, на натурный объект при соответствующей скорости натуры. Так как моделирование по закону подобия Рейнольдса в опытовом бассейне невозможно [1], то при испытаниях соответствие скоростей модели и натуры осуществляется по закону подобия Фруда. При таком моделировании возможно учесть только волновое сопротивление судна. В настоящее время используются два метода пересчёта результатов с модели на натуру, которые можно назвать методами Фруда и Хьюза [1].

Помимо стандартных модельных испытаний, в опытовом бассейне проводятся исследования, предназначенные для проверки результатов аналитических исследований, относящихся к отдельным составляющим сопротивления, а именно определение сопротивления отдельных изолированных элементов судна, изучение масштабного эффекта, определение сопротивления в особых условиях плавания. Особая точность скорости перемещения модели требуется при определении присоединённых масс инерционным методом, при котором осуществляется замер усилий при нестационарном движении модели. Для проведения такого рода исследований модель должна перемещаться с замедлением или ускорением с заранее известной величиной ускорения. Исследования показали [1], что влияние волнообразований на свободной поверхности приводит к увеличению присоединённой массы в два и более раз.

В настоящее время на кафедре Теория и устройства корабля совместно с кафедрой Электрооборудования и автоматики закончен монтаж и проведены наладочные испытания быстроходной тяговой тележки для прямого опытового бассейна. Отличительной особенностью тяговой тележки является размещение исполнительного электродвигателя, в качестве которого принят асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, на корпусе тележки, что позволило избавиться от системы «бесконечного» троса, обладающего упругостью, оказывающего заметное влияние на экспериментальные исследования [2]. Для управления скоростью вращения исполнительным электродвигателем используется преобразователь частоты FR-A 540. В преобразователе частоты используется векторное управление, которое позволяет получить широкий диапазон регулирования угловой скорости асинхронного электродвигателя, высокую точность регулирования, увеличить быстродействие электропривода. Векторное управление обеспечивает непосредственное формирование вращающего момента электродвигателя, который определяется током статорной цепи, создающим основное магнитное поле машины. При непосредственном управлении моментом необходимо изменять, кроме амплитуды, фазу тока статора, то есть вектор тока. Для управления вектором тока, и, следовательно, положением магнитного потока статора относительно вра-

щающегося ротора, требуется знать точное положение ротора в любой момент времени. Эта задача решается путём вычислений по математической модели электродвигателя, внесённой в программу системы управления частотным преобразователем, в которой используются значения токов и напряжений статорной обмотки. Векторное управление обеспечивает диапазон регулирования до 1:1000, с точностью регулирования до сотых долей процента при наличии внешнего датчика скорости вращения исполнительного электродвигателя, точность по моменту вращения – единицы процентов.

С учётом требований, предъявляемых к приводу тяговой тележки, перечисленных выше, можно сделать вывод о необходимости настройки системы управления скоростью вращения асинхронного электродвигателя. Для обеспечения высокой стабилизации скорости перемещения тяговой тележки, которая прямо пропорциональна скорости вращения исполнительного электродвигателя, необходимо либо увеличить коэффициент усиления системы управления, либо использовать настройку на пропорционально-интегральный регулятор скорости. Для анализа этих способов была составлена структурная схема рассматриваемой системы и определены показатели качества переходных процессов при использовании различного типа регуляторов. Анализ проведённых расчётов показал, что при использовании пропорционального регулятора скорости необходимо большое значение коэффициента усиления, что неблагоприятно сказывается на перерегулировании (достигает 27%) и колебательности переходного процесса. При использовании пропорционально-интегрального регулятора получаем высокую стабилизацию угловой скорости в установившемся режиме, а в переходных режимах – высокую колебательность. При этом момент нагрузки на валу исполнительного электродвигателя принимался постоянным. В реальных условиях в ходе проведения эксперимента момент нагрузки на валу не постоянен, а носит колебательный характер. При больших массах тяговой тележки колебания момента, создаваемого моделью судна, не оказывали существенного влияния на результаты экспериментов, так как эти колебания сглаживались за счёт кинетической энергии самой тележки. В нашем случае, для обеспечения быстроходности, тележка выполнена из легких материалов, что не позволяет накопить достаточное количество кинетической энергии для сглаживания колебаний момента, что особенно характерно в переходных режимах. Поэтому была дополнительно исследована возможность использования пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора в качестве регулятора скорости асинхронного электродвигателя. В этом случае результат математического моделирования, которое проводилось в среде MatLab 7.0, обусловил хорошие показатели стабилизации скорости в установившемся режиме (статическая погрешность на низшей скорости составила 0,5%) и в переходном режиме (перерегулирование по скорости отсутствует, число колебаний угловой скорости асинхронного электродвигателя не превышает 3).

Выбранный тип преобразователя частоты обеспечивает настройку регуляторов скорости и тока в очень широком диапазоне, в том числе настройку на ПИД – регулятор с заданными значениями постоянных времени и коэффициентов усиления. Данная функция обеспечивается центральным процессором, входящим в состав системы управления преобразователем частоты.

На кафедре электрооборудования и автоматики была разработана схема подключения преобразователя частоты (рисунок 1).

Клеммы R,S,T предназначены для подключения преобразователя частоты к питающей сети напряжением 380 В частотой 50 Гц. К клеммам U,V,W подключается исполнительный электродвигатель. Схемой преобразователя частоты предусматривается использование тормозного резистора для реализации динамического торможения асинхронного электродвигателя (клеммы P, RP), а также блока рекуперации мощности (клеммы P, N) для реализации рекуперативного торможения. В нашем случае эти режимы не используются, так как тормозные режимы протекают достаточно длительное время.

При частотном регулировании скорости вращения асинхронного электродвигателя меняется угловая скорость магнитного поля статора:

$$\omega_1 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}, \quad (1)$$

где ω_1 – угловая скорость вращения поля статора, с⁻¹;

f_1 – частота тока статора, Гц;

p – число пар полюсов статора.

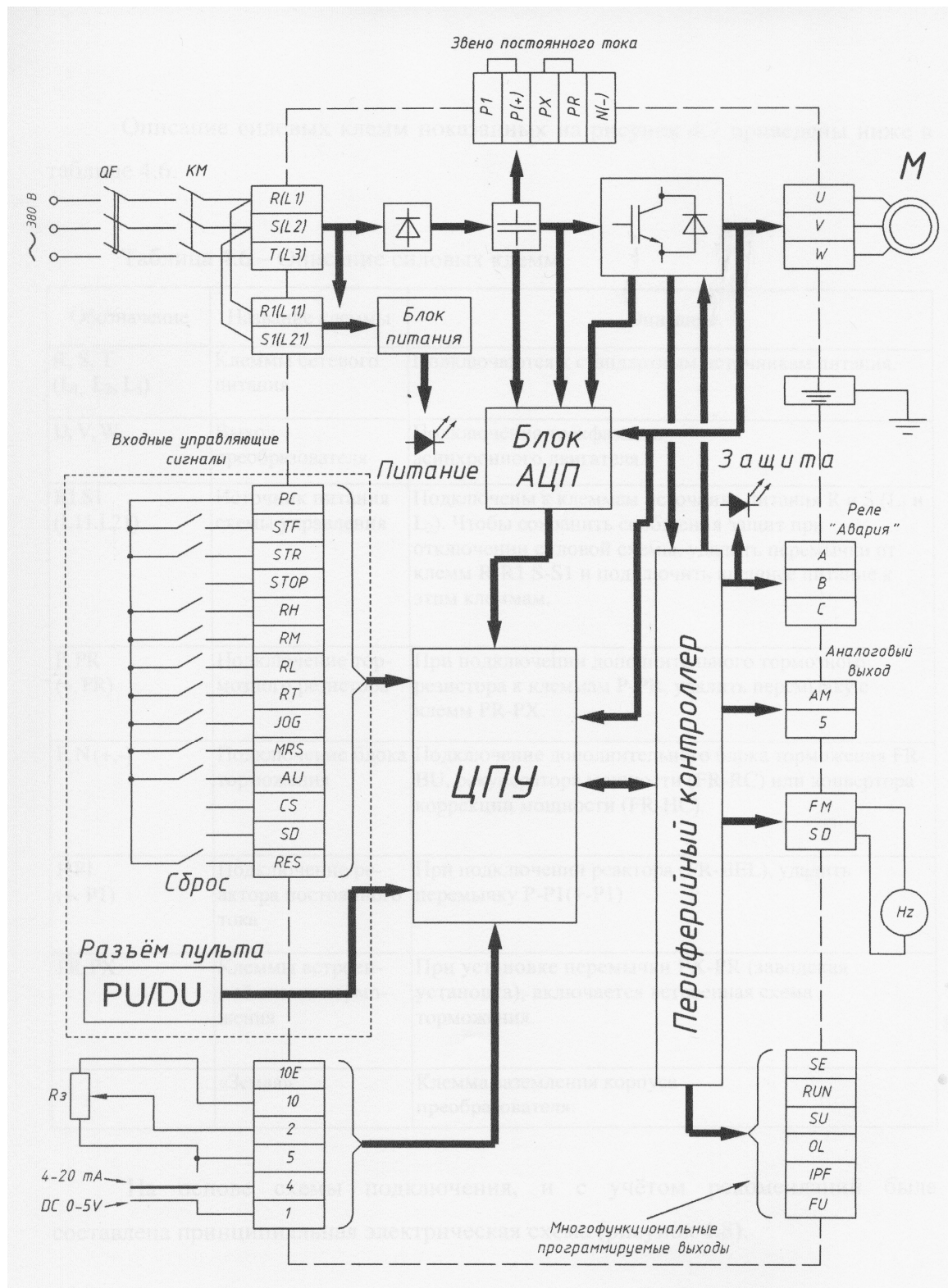


Рисунок 1 – Схема подключения частотного электропривода для опытового бассейна

Как видно из (1), ω_1 пропорциональна частоте f_1 и не зависит от других величин для конкретной машины. Вместе с тем, изменяя f_1 , следует изменять амплитуду напряжения статорной цепи для сохранения магнитного потока на некотором уровне

$$\Phi = \frac{U}{4,44 \cdot W_1 \cdot f_1 \cdot k}, \quad (2)$$

где U – напряжения статорной цепи, В;
 W_1 – число витков статорной обмотки;
 k – коэффициент, зависящий от выполнения статорной обмотки.

Механические характеристики при частотном регулировании по закону $U/f_1 = \text{Const}$ будут иметь вид (рисунок 2).

Как видно из механических характеристик, при частотном регулировании можно реализовать регулирование угловой скорости асинхронного электродвигателя как вверх, так и вниз от основной скорости, при этом при регулировании вниз от основной скорости допустимой нагрузкой является номинальный момент электродвигателя, а при регулировании вверх от основной скорости допустимой нагрузкой является номинальная мощность на валу электродвигателя.

Преобразователь частоты FR A-540 может работать в режимах «внешнего» управления, управления с пульта, комбинированного управления и управления по последовательному интерфейсу. В опытовом бассейне используются режимы «внешнего» управления и управления с пульта. При реализации внешнего управления были определены клеммы схемы управления преобразователя частоты, которые будут задействованы для работы электропривода и на кафедре Электрооборудования и автоматики составлены схема внешнего пульта управления (рисунок 3).

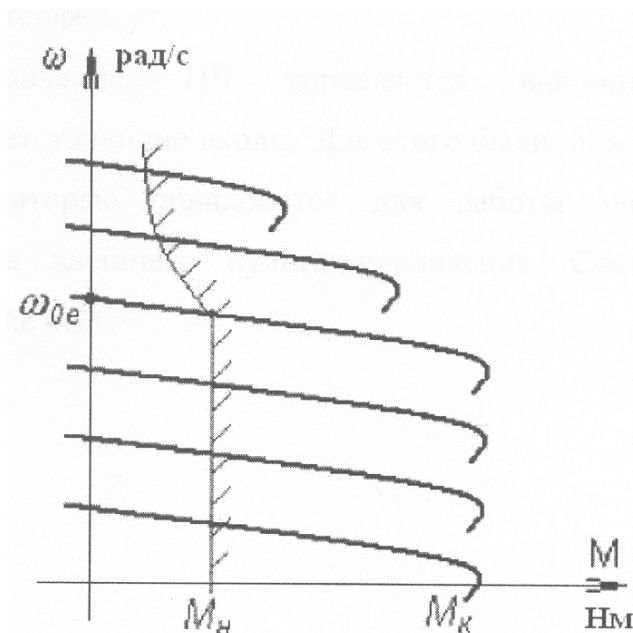


Рисунок 2 – Механические характеристики при частотном регулировании скорости асинхронного электродвигателя

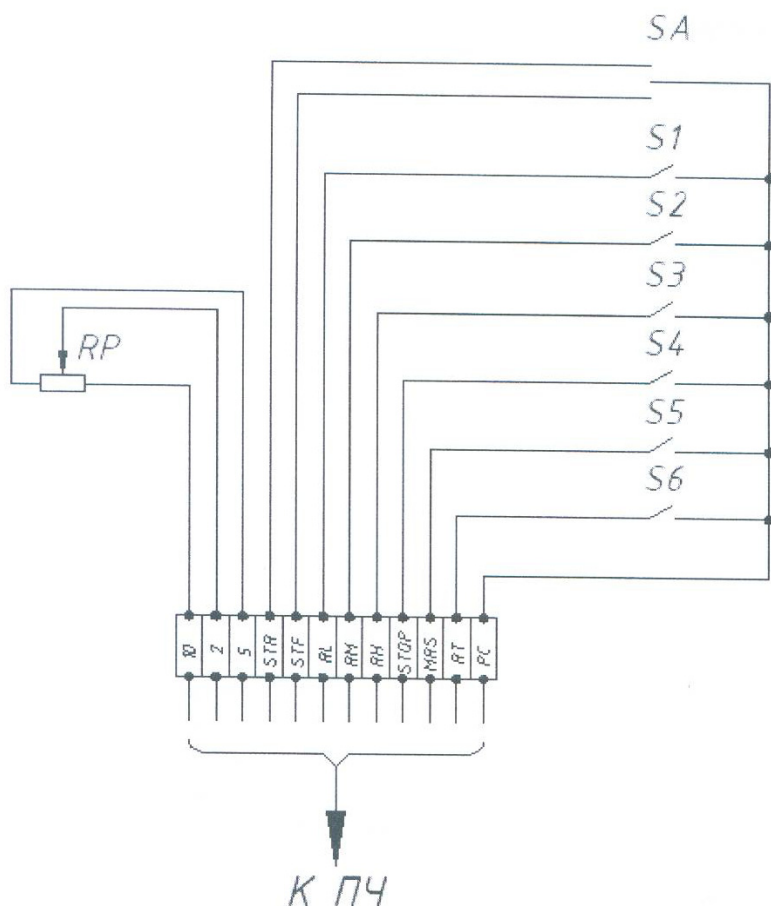


Рисунок 3 – Электрическая схема внешнего пульта управления

При составлении схем (рисунок 1 и 3) использовались разработки лаборатории частотного электропривода кафедры Электрооборудования и автоматики.

Входные сигналы преобразователя частоты имеют положительную логику. В этом случае сигнал считается поданным на данный вход при втекании тока в этот вход. Клемма PC является общей для контактных входных сигналов. Тумблеры S1-S3 ступенчато задают требуемую частоту вращения исполнительного электродвигателя, а потенциометр RP обеспечивает плавное регулирование частоты вращения электродвигателя. Выбор направления вращения осуществляется трёхпозиционным переключателем SA.

При управлении с пульта можно задавать частоту вращения, выдавать команды управления, устанавливать параметры электропривода, получать информацию о сбоях в работе частотного преобразователя. Преобразователь управляется с пульта FR-DU04 входящего в

комплект. Данный режим удобен для «быстрого» запуска и программирования параметров работы преобразователя частоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Павленко, В.Г. Ходкость и управляемость судов / В.Г. Павленко, В.Ф. Бавин. -М.: Транспорт, 1991. -398 с.

2 Романов, М.Н. Оценка влияния упругих элементов на экспериментальные исследования в опытовом бассейне НГАВТ / М.Н. Романов //Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2005. -№1/2. -С. 170-176.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: частотный электропривод, настройка системы управления скоростью

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Вьюгов Виктор Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Романов Марк Николаевич, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

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

МЕТОДИКА РАСЧЁТА МАССЫ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОРПУСА ТАНКЕРА СМЕШАННОГО (РЕКА-МОРЕ) ПЛАВАНИЯ

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

Е.П. Роннов, Ю.А. Кочнев

DESIGN PROCEDURE OF WEIGHT THE METAL HULL OF THE TANKER SEE-RIVER FLEET

«Volga state academy of water transport»

E.P. Ronnov, Yu.A. Kochnev

In article the mathematical model and algorithm calculation of weight metal hull are present, which include designing of a virtual actual midship section, circuit design structural frame, determining girder size considering ship's lines. Dependences for determining of length compartment of the tanker and bending moment on silent water at the initial stage design are offer.

Keywords: tanker, structural steel hull, mathematical model, general strength, plan structural frame

Представлена математическая модель и алгоритм расчета массы металлического корпуса, включающая проектирование виртуального конструктивного мидель-шпангоута, разработку конструктивной схемы набора корпуса, определение размеров связей, учитывающих особенности обводов корпуса в оконечностях. Предложены зависимости для определения длин отсеков танкера и изгибающего момента на тихой воде на начальном этапе проектирования.

Масса металлического корпуса танкера составляет 62-73% от его водоизмещения порожнем. Следовательно, даже незначительные погрешности в её определении существенно влияют на величину водоизмещения судна, а значит и на грузоподъемность, которая должна быть наибольшей при заданных главных размерениях.

Известен ряд способов расчёта массы металла, рассмотренных например в [1].

Наипростейшим методом является использование кубического LBN или квадратичного модуля $L(B+H)$. Масса металла корпуса в этом случае определяется по формуле

$$P_{mk} = \psi_{mk} \times M, \quad (1)$$

где ψ_{mk} – измеритель массы металлического корпуса, определяемый или по судно-прототипу, или по статистике;

M – принятый модуль.

Основным недостатком такого подхода является то, что судно-прототип должно иметь минимальные различия с проектируемым судном. Этим же требованиям должны удовлетворять и статистические данные.

На массу металла корпуса оказывают влияние класс судна; число, тип и размеры поперечных и продольных переборок; система набора; геометрические характеристики корпуса (коэффициенты полноты, соотношения главных размерений). При определении массы корпуса, особенно решая задачи оптимизации, всё это необходимо принимать во внимание.

Учесть наибольшее количество параметров, влияющих на величину массы металлического корпуса можно путём разработки виртуальной модели требуемой конструкции корпуса и последующего постатейного расчёта интересующей массы.

Для удобства расчёта и анализа деление масс на составляющие произведено нами в соответствии с [2]. Так группа 0101 «Корпус металлический» подразделяется на следующие подгруппы:

010101 «Обшивка наружная, настил второго дна и примыкающие части» P_I ;

010102 «Палубы и платформы корпуса» P_{II} ;

010103 «Переборки корпуса» P_{III} ;

010104 «Надстройки, рубки и мачты» P_{IV} ;

010105 «Конструкции специальные»;

010106 «Выступающие части» P_V .

То есть группа «корпус металлический» может быть представлена в виде суммы

$$P_{МК} = P_I + P_{II} + P_{III} + P_{IV} + P_V, \quad (2)$$

Основные этапы алгоритма расчёта массы металлического корпуса можно представить по укрупнённой блок-схеме, приведённой на рисунке 1.

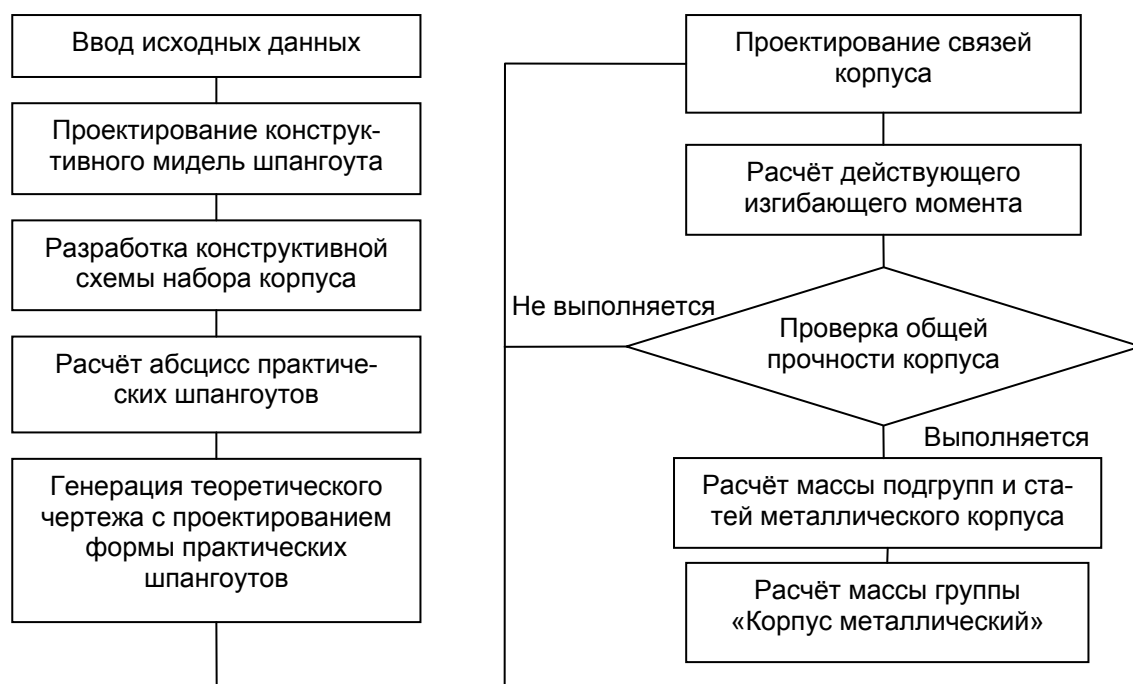


Рисунок 1 – Блок-схема расчёта массы металлического корпуса

Большинство современных танкеров смешанного плавания имеют продольную систему набора корпуса в средней части и поперечную в оконечностях. Проектирование конструктивного миделя производится в следующей последовательности: определяются длины поясов обшивки; рассчитывается количество продольных балок основного и рамного набора по днищу, второму дну и палубе; определяются число и аппликаты продольных рамных и холостых балок наружных и вторых бортов, диаметральной переборки.

Разработка конструктивной схемы набора корпуса начинается с расчёта длин отсеков.

Длина форпика должна быть не менее половины ширины судна.

Длина отсека с подруливающим устройством может быть рассчитана по формуле

$$L_{пу} = (0,0409 - 1,318 \times L \times 10^{-4}) \times L, \quad (3)$$

где L – расчётная длина судна, м.

За подруливающим устройством следует либо коффердам, который принимается длиной 2 шпации, или балластный отсек, длина которого на начальном этапе проектирования рассчитывается следующим образом

$$L_{БО} = (0,034 - 1,443 \times Dw \times 10^{-6}) \times L, \quad (4)$$

где Dw – дедвейт судна, т.

Общая длина грузовой зоны – это сумма длин грузовых $L_{ГТ}$ и отстойных $L_{ОТ}$ танков, которые определяются по формулам:

$$L_{ГТ} = \frac{P}{\rho_{ар} (H - h_{ед})(B - b_{еб})}; \quad (5)$$

$$L_{ОТ} = 0,03 \times L_{ГТ}, \quad (6)$$

где P – грузоподъемность судна, т;
 $\rho_{ар}$ – плотность перевозимого груза, т/м³;
 H – высота борта судна, м;
 $h_{ед}$ – высота междудонного пространства, м;
 B – ширина судна, м;
 $b_{еб}$ – суммарная ширина двойных бортов, м.

Размеры каждого танка, высота междудонного пространства и ширина двойных бортов определяются с учётом требований Правил [3, 4].

При температуре вспышки перевозимого груза менее 60°C, предусмотрено отделение машинного помещения от грузовых трюмов коффердамом длиной 2 шпации или насосным отделением, которое его заменяет, длиной 6 шпаций.

Длина машинного отделения определяется по эмпирическим формулам.

– при одном главном двигателе (ГД)

$$L_{МО} = \left(0,207 - 1,13 \times \frac{LBT}{Nv} \right) \times L; \quad (7)$$

– при двух ГД

$$L_{МО} = \left(0,25 - 0,23 \times \frac{LBT}{Nv} \right) \times L, \quad (8)$$

где T – осадка судна, м;
 N – суммарная мощность ГД, кВт;
 v – скорость хода, уз.

По длине корпус судна подразделяется на носовую оконечность, среднюю часть и кормовую оконечность. Для данных зон рассчитывается количество холостых и рамных шпангоутов борта, бимсов, флоров, абсциссы положения практических шпангоутов. Длины шпангоутов и бимсов до носовой переборки грузовых трюмов и после ахтерпиковой переборки находятся по фактическим сечениям с использованием теоретического чертежа, который генерируется в соответствующем блоке, что позволяет учесть форму корпуса при расчёте массы набора в оконечностях.

Для спроектированного корпуса проверяется общая прочность по допускаемым напряжениям.

Изгибающий момент представляется суммой момента на тихой воде и на волнении. Дополнительный момент на волнении определяется по Правилам [3, 4]. Изгибающий момент на тихой воде может быть рассчитан следующим образом:

– для судов, спроектированных по Правилам [3]

$$M_{ТВ} = \left[0,293 - 1,8 \times D \times 10^{-5} - 1225,99 \times (x_c/L)^2 \right] DL; \quad (9)$$

– для судов, спроектированных по Правилам [4]

$$M_{ТВ} = \left[0,862 + 7,199 \times D \times 10^{-6} + 0,991 \times \delta - 0,949 \times (x_c/L) \right] DL. \quad (10)$$

Расчёт массы производится в зависимости от фактических размеров и плотности материала. Масса наружной обшивки определяется по её площади и средней толщине используемых листов.

Масса подгруппы 010101 «Обшивка наружная, настил второго дна и примыкающие части» (P_i) определяется как сумма следующих составляющих

$$P_i = P'_1 + P'_2 + P'_3 + P'_4 + P'_5 + P'_6 + P'_7 + P'_8 + P'_{доп}, \quad (11)$$

где P'_1 – обшивка наружная, т;
 P'_2 – настил второго дна, т;
 P'_3 – набор продольный междудонный, т;
 P'_4 – набор поперечный междудонный, т;
 P'_5 – набор бортов продольный, т;
 P'_6 – набор бортов поперечный, т;

P_7^I – набор продольный в оконечностях вне района второго дна, т;

P_8^I – набор поперечный в оконечностях вне района второго дна, т;

$P_{доп}^I$ – массы неучтённые в предыдущих статьях, но входящие в подгруппу 01010 [2].

Масса палуб, в которую включаются палубы бака и юта, платформы корпуса определяются следующими составляющими

$$P_{II} = P_1^{II} + P_2^{II} + P_3^{II} + P_4^{II} + P_5^{II} + P_6^{II} + P_{доп}^{II}, \quad (12)$$

где P_1^{II} – масса настила главной палубы, т;

P_2^{II} – масса продольного набора главной палубы, т;

P_3^{II} – масса поперечного набора главной палубы, т;

P_4^{II} – масса настила палубы юта и бака, т;

P_5^{II} – масса продольного набора палубы юта и бака, т;

P_6^{II} – масса поперечного набора палубы юта и бака, т;

$P_{доп}^{II}$ – масса платформ и прочие неучтенные массы, т.

Масса настила главной палубы, палуб бака и юта определяется по их фактической площади и средней толщине поясов.

Масса переборок в составе корпуса может быть рассчитана по формуле

$$P_{III} = (P_1^{III} + P_2^{III}) k_{доп}^{III}, \quad (13)$$

где P_1^{III} – масса поперечных переборок, т;

P_2^{III} – масса продольных переборок, т;

$k_{доп}^{III}$ – коэффициент, учитывающий массу выгородок, второстепенных переборок, шахт внутри корпуса.

При расчёте массы переборок учитывается её конструктивный тип (плоская или гофрированная) и средняя толщина листов.

Масса подгруппы «Надстройки, рубки и мачты» можно определить с использованием зависимостей, предложенных в [5].

Масса совместно «конструкций специальных» и «выступающих частей» (подгруппы 010105 и 010106) составляет незначительные массы и на начальных этапах проектирования даже в задачах оптимизации могут быть приняты как

$$P_V = [29,84 - 0,00907 \times (P_I + P_{II} + P_{III})] \frac{P_I + P_{II} + P_{III}}{1000}. \quad (14)$$

Анализ полученных расчётных составляющих масс рассматриваемых подгрупп позволил ввести поправочные коэффициенты, как к каждой составляющей, так и массы всего металлического корпуса.

По предложенной математической модели разработана программа и выполнен тестовый расчёт массы металлического корпуса четырёх танкеров. Результаты расчёта представлены в таблице.

Таблица – Сопоставление результатов расчёта с фактическими массами

Проект судна	P77	19614	17103	1677M
Класс	M(лёд)	R2-RSN	R2-RSN	R2-RSN
$L \times B \times H \times T$, м	105,0×14,8×4,4×2,5	139,0×16,6×6,1×3,74	134,05×16,6×6,1×3,86	120,56×16,6×6,9×4,15
Dw , т	2812	5600	5420	4987
Погрешность, %	3,1	4,3	2,1	3,3

Погрешность в определении массы составляет менее 5% и может быть компенсирована правильным выбором запаса водоизмещения.

С помощью разработанной программы была посчитана масса металлического корпуса сетки танкеров, что позволило получить зависимости для определения указанной величины на начальном этапе проектирования.

Для танкера класса М-СП Российского Речного Регистра судоходства масса металлического корпуса может быть определена по формуле

$$P_{МК} = 0,521 \times L^{1,145} \times B^{0,452} \times H^{0,52} \times \delta^{0,184}. \quad (15)$$

При проектировании судна на класс R2–RSN Российского Морского Регистра судоход-

ства для расчёта искомой массы предлагается следующая зависимость

$$P_{\text{МК}} = 0,025 \times L^{1,581} \times B^{1,276} \times H^{-0,02} \times \delta^{1,747}. \quad (16)$$

Приведённые зависимости позволяют с точностью до 11% определить массу металлического корпуса танкера.

Разработанные математическая модель и программа могут быть использованы для расчёта водоизмещения при оптимизации элементов нефтеналивного судна, а статистические зависимости – для решения отдельных задач на начальных этапах проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ашик, В.В. Проектирование судов: учебник / В.В. Ашик. -2-е изд., перераб. и доп. -Л.: Судостроение, 1985. -320 с.: ил.

2 ОСТ 5Р.0206-2002. Нагрузка масс гражданских и вспомогательных судов. Классификация элементов нагрузки: распоряжение № ТК 0206-26. -Принят и введ. 2002-12-27 / Техн. ком. по стандартизации ТК «Судостроение». -74 с.

3 Российский Речной Регистр. Правила. В 4 т. Т.4. -М., 2008. -406 с.

4 Правила классификации и постройки морских судов. В 2 т. Т.1. -2008.

5 Кочнев, Ю.А. Математическая модель расчёта массы танкера смешанного (река-море) плавания / Ю.А. Кочнев // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. Мор. техника и технология. - 2010. -№1. -С. 7-12.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: танкер, корпус металлический, математическая модель, общая прочность, схема набора

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Роннов Евгений Павлович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

Кочнев Юрий Александрович, аспирант ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «ВГАВТ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ОСТАНОВКИ СУДНА ПО ВАРИАЦИИ ПУТЕВОГО УГЛА ПРИЁМНИКА GP-37

ГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского»

Ю.А. Комаровский

DETECTION OF A VESSEL'S STOPPING TIME POINT USING VARIATIONS OF THE COURSE OVER GROUND BY GPS-RECEIVER GP-37

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»
Yu.A. Komarovskiy

We observed an increase in dispersion of variations of the course over ground with decreasing speed the speed over ground for an object equipped with the GPS-receiver GP-37. Based on this, a way of estimating the speed over ground for slow-moving objects has been suggested.

Keywords: Navstar GPS, GPS-receiver, speed over ground (SOG), difference of COG

Обнаружено увеличение дисперсии разностей отсчётов путевого угла по мере снижения абсолютной скорости до нуля носителя, на котором установлен GPS-приёмник GP-37. Предложен способ оценки величины абсолютной скорости малоподвижных объектов.

Маневрирование крупнотоннажного судна на скоростях менее 1 узла (0,5144 м/с) сопряжено с проблемой точного определения модуля вектора его абсолютного перемещения. При малых скоростях в определении абсолютной скорости возникают две проблемы. Первая связана с низкой чувствительностью GPS-приёмников большинства типов. Такой приёмник как GP-270ML, изготавливаемый компанией Icom, прекращает определять скорость, когда она становится меньше 1 узла. Подавляющее количество типов других приёмников отображают на экране индикатора и выводят на внешние устройства модуль вектора абсолютной скорости (Speed Over Ground – SOG) и направление вектора (Course Over Ground – COG) равные нулю, когда судно движется со скоростью менее 0,1 узла. Вторая проблема связана с повышенной чувствительностью GPS-приёмников. У таких приёмников, к которым относятся NavTrac XL компании Trimble Navigation и GP-37 компании Furuno, наблюдаются заметные флуктуации элементов вектора абсолютной скорости даже при неподвижном фазовом центре антенны. В данной работе предлагается способ повышения точности определения

скорости судна, близкой к нулю, и способ определения момента полной остановки судна по результатам обработки информации, предоставляемой GPS-приёмником GP-37.

Для начала сформулируем понятие неподвижного судна с позиции данных, предоставляемых GPS-приёмником. Приёмник вычисляет следующие данные: плановые геодезические координаты, SOG и COG. Пусть $v_\varphi(t)$ и $v_\lambda(t)$ – скорости изменения широты и долготы соответственно

$$v_\varphi(t) = \frac{ds_\varphi}{dt}; v_\lambda(t) = \frac{ds_\lambda}{dt}; v_\varphi(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s_\varphi}{\Delta t}; v_\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s_\lambda}{\Delta t}, \quad (1)$$

где $\Delta s_\varphi, \Delta s_\lambda$ – смещение в метрах обсервованного места судна по меридиану и по параллели соответственно;

$$\Delta t = t_2 - t_1;$$

$$\Delta s_\varphi = (\varphi'_2 - \varphi'_1) \times l_m; \Delta s_\lambda = (\lambda'_2 - \lambda'_1) \times l_p, \quad (2)$$

где λ'_2 – широта и долгота в угловых минутах соответственно в момент времени t_2 ;

φ'_1, λ'_1 – широта и долгота в угловых минутах соответственно в момент времени t_1 ;

l_m, l_p – длина в метрах дуги одной минуты меридиана и длина в метрах дуги одной минуты параллели референц-эллипсоида соответственно [1],

$$l_m = \frac{a(1-e^2)\text{arc}1'}{\sqrt{(1-e^2\sin^2\varphi)^3}}; l_p = \frac{a \times \cos\varphi \times \text{arc}1'}{\sqrt{1-e^2\sin^2\varphi}},$$

где a – большая полуось референц-эллипсоида, для WGS-84 $a = 6378137$ м [1];

e – первый эксцентриситет референц-эллипсоида, для WGS-84 $e = 0,0818191908426$ [1].

Тогда расстояние, пройденное вдоль меридиана S_m , и расстояние, пройденное вдоль параллели S_p , за интервал времени Δt определяются общепринятым образом

$$S_m = \int_{t_1}^{t_2} v_\varphi(t) dt; S_p = \int_{t_1}^{t_2} v_\lambda(t) dt.$$

Отсюда общее, пройденное за этот интервал времени расстояние S будет вычисляться по формуле

$$S = \sqrt{\left[\int_{t_1}^{t_2} v_\varphi(t) dt \right]^2 + \left[\int_{t_1}^{t_2} v_\lambda(t) dt \right]^2} \quad (3)$$

Вполне естественно предположить, что на интервале времени Δt объект будет считаться неподвижным относительно системы координат, связанной с твёрдой Землёй, если $S = 0$. Это условие выполнимо тогда и только тогда, когда $\Delta s_\varphi = \Delta s_\lambda = 0$ или $v_\varphi(t) = v_\lambda(t) = 0$.

В спутниковой радионавигационной системе (СРНС) Навстар GPS, как и во всех других СРНС, используется неподвижная относительно Земли прямоугольная (декартова) система координат [1]. В ней ось x направлена от центра масс Земли по линии пересечения плоскости экватора референц-эллипсоида WGS-84 с плоскостью нулевого (Гринвичского) меридиана. Ось y принадлежит плоскости экватора и отстоит от оси x на 90° к востоку. Ось z выходит из центра масс Земли в сторону Северного полюса и совпадает с направлением на Условный земной полюс, установленный Международным бюро времени и вращения Земли на эпоху 1984 года.

Если антенна GPS-приёмника установлена неподвижно относительно твёрдой Земли, то должно выполняться условие $\Delta s_\varphi = \Delta s_\lambda = 0$. Однако многочисленные экспериментальные наблюдения автора за работой целого ряда типов судовых GPS-приёмников, установленных неподвижно, не подтверждают выполнение условия $\Delta s_\varphi = \Delta s_\lambda = 0$.

На рисунке 1 представлены графики фрагмента смещения координат и флуктуации элементов вектора абсолютной скорости неподвижного GPS-приёмника GP-37 за 120 с непрерывных наблюдений. Наблюдения выполнялись автором на базе Артемовской топографо-геодезической экспедиции с 25 сентября по 17 октября 2006 года вблизи фундаментального пункта астрономо-геодезической сети.

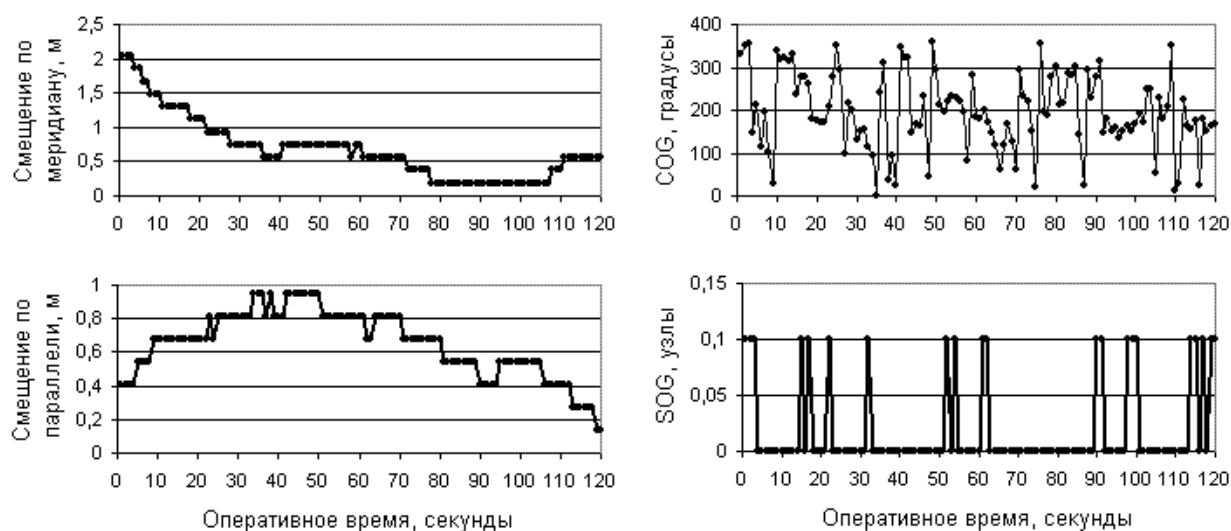


Рисунок 1 – Дрейф координат и флуктуации вектора скорости неподвижного GP-37

На правой верхней панели рисунка 1 изображён график изменения направления вектора абсолютной скорости неподвижного приёмника. Ниже представлен график изменения модуля вектора абсолютной скорости неподвижного приёмника. Поскольку разрядность представления модуля скорости приёмника GP-37 равна 0,1 узла, то создаётся ложное представление о том, будто носитель приёмника совершает хаотичное движение со скоростями от 0 до 0,14 узла. Именно так зачастую объясняют характер отображения координат и скорости GPS-приёмником на ошвартованном судне.

На левых панелях рисунка 1 можно видеть, как за 120 с обсервованное место переместилось по меридиану на 2,22 м, а по параллели – на 1,35 м. На самом же деле антенна приёмника была абсолютно неподвижна относительно системы координат СРНС Навстар GPS. Иными словами, с формальной точки зрения условие неподвижности $\Delta s_{\varphi} = \Delta s_{\lambda} = 0$ не выполняется. Следовательно, антенна приёмника находилась в движении относительно системы координат СРНС Навстар GPS. Поскольку этот факт противоречит здравому смыслу, то приходится остановиться на единственном выводе о том, что изменения обсервованных координат не могут служить признаком неподвижности носителя GPS-приёмника в диапазоне близких к нулю скоростей. Здесь требуются дополнительные исследования, так как есть предположение, что флуктуации координат, проявляющиеся при неподвижном носителе GPS-приёмника, могут входить в виде погрешностей в координаты движущегося носителя.

Во всех GPS-приёмниках значения SOG и COG определяются по результатам обработки доплеровских измерений несущей частоты сигналов, излучаемых спутниками системы Навстар GPS [2, 3]. Обсервованные координаты в судовых GPS-приёмниках вычисляются по кодовым измерениям псевдодальностей до спутников. Следовательно, обсервованные координаты и элементы вектора абсолютной скорости (SOG и COG) определяются по разным измерительным каналам. Поэтому для определения характера изменения элементов вектора абсолютной скорости, близкой к нулю, были предприняты экспериментальные наблюдения на пассажирском пароме «Бригадир Ришко». На жёсткий диск ноутбука записывались данные, выводимые GPS-приёмником GP-37, во время швартовок парома. Наблюдения проводились с 11 июля по 5 сентября 2008 года. Паром подходил к 36 причалу бухты Золотой Рог, к Подножью и к причалу Канала бухты Новик о. Русский, а также к причалу бухты Западная о. Попова. Во время швартовок при подходе к причалу паром медленно уменьшал скорость до нуля. Паром из-за его большой инерции не может быстро изменять направление своего движения на заключительном этапе швартовки. Следовательно, изменчивость путевого угла и SOG при практически стабильном движении парома может быть объяснена только способом получения COG в GPS-приёмнике. Об этом можно судить по рисунку 2, на котором представлены графики изменения за 80 с обсервованных координат, SOG и COG при швартовке к 36 причалу 20 июля 2008 года в 03:03 UTC.

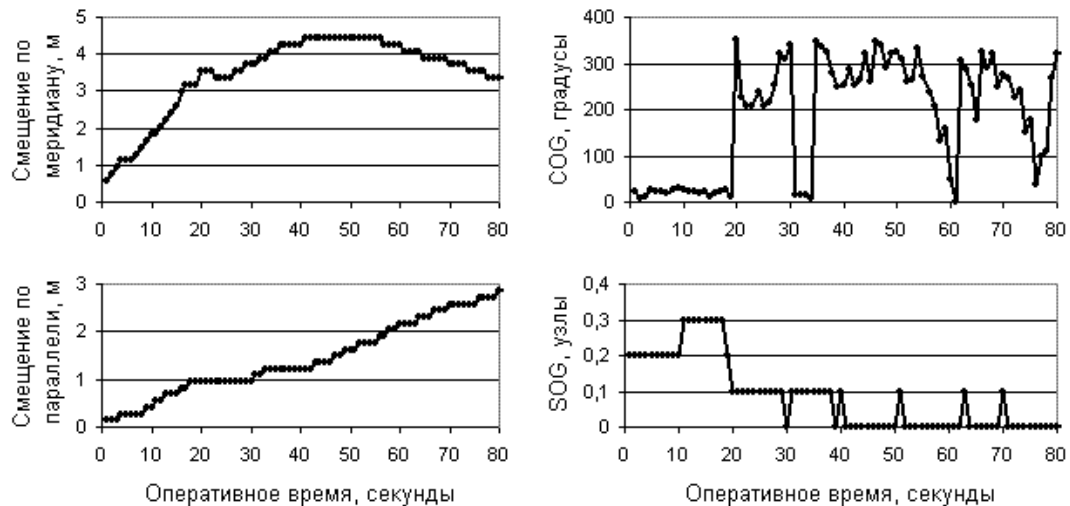


Рисунок 2 – Изменения координат, SOG и COG при швартовке к 36 причалу

Если рассматривать перемещение антенны приёмника GP-37 по наблюдаемым координатам (левые панели рисунка 2), то до 20-й секунды она двигалась на северо-восток, что не противоречит графику путевого угла (верхняя правая панель рисунка 2). После 20-й секунды путевой угол перешёл в область юго-западных направлений, а направление перемещения наблюдаемого места антенны оставалось прежним. Судя по графику правой нижней панели, после 40-й секунды движение антенны прекратилось (величина SOG устойчиво равна нулю). В то же самое время наблюдаемое место продолжало перемещаться практически с той же самой скоростью. Отсюда следует, что при малых скоростях перемещения антенны GPS-приёмника, рассчитанных по изменениям наблюдаемых координат, вектор скорости не будет совпадать с вектором абсолютного перемещения, полученным по доплеровским измерениям. Поскольку, как указывалось выше, наблюдаемые координаты подвержены непрерывному дрейфу, то при малых скоростях об элементах вектора абсолютного перемещения антенны GPS-приёмника можно с большей уверенностью судить только по величинам COG и SOG.

Из сравнения правых панелей рисунка 2 следует, что при скоростях более 0,2 узла скорость варьирования величины COG значительно меньше, нежели скорость варьирования COG при меньших скоростях паромы. Этот факт подтверждает доплеровскую основу определения COG и SOG в GPS-приёмниках. Отсюда следует важный вывод о том, что по скорости варьирования COG, принимаемой в качестве показателя точности определения направления абсолютного перемещения, можно судить о скорости абсолютного перемещения носителя GPS-приёмника.

Размах и скорость варьирования COG можно оценивать как разность между его смежными значениями, получаемую за один и тот же интервал времени, при условии, что носитель движется в неизменном направлении в течение длительного времени. На рисунке 3 на правой панели показан график изменения разностей COG за 1 секундные интервалы во время той же самой швартовки. Для сравнения на левой панели повторён график изменения COG.

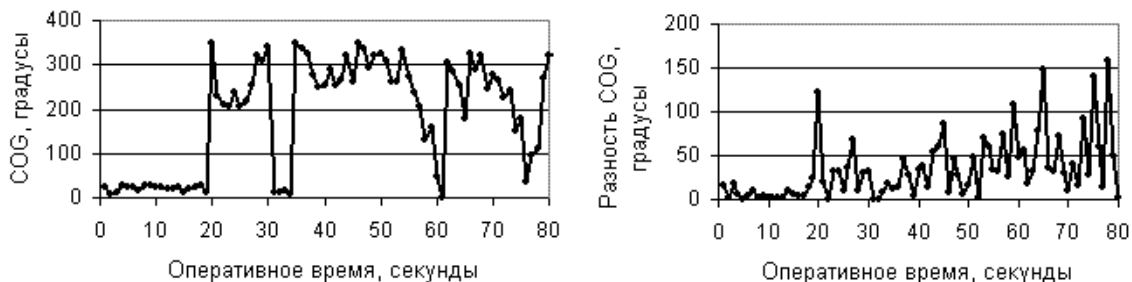


Рисунок 3 – График изменения COG и график изменения разности COG

Анализируя график правой панели рисунка 3, можно заметить, что с уменьшением скорости паромы растёт средняя величина разности COG, а также увеличивается её дисперсия.

Понятно, что разность COG – это всегда положительная величина, которая не превышает 180° .

Чтобы убедиться в закономерности явления увеличения среднего значения разности при уменьшении скорости движения GPS-приёмника, были рассчитаны средние значения разностей COG и средние квадратические отклонения (СКО) их разностей для неподвижного приёмника GP-37. Исходным материалом послужил массив данных, полученный в течение одних суток в наблюдениях в Артемовской топографо-геодезической экспедиции. Для сравнения были рассчитаны средние и СКО разностей COG для скоростей паромов 0 и 0,1 узла. Результаты вычислений сведены в таблицу.

Таблица – Параметры распределения разностей COG GP-37

Параметр распределения	Скорость и место наблюдений		
	0,1 уз. Паром	0 уз. Паром	0 уз. Артём
Средняя разность, градусы	18,18	50,94	50,38
СКО разности, градусы	21,89	45,53	45,03
Объём выборки	1125	1148	86371

Из таблицы следует, что средние разности COG у неподвижного приёмника и у приёмника на пароме, когда выводилась нулевая скорость,

практически одинаковы. Одинаковы и СКО. Когда же паром двигался со скоростью 0,1 узла, то средняя разность уменьшилась почти в три раза, а СКО – почти в два раза. Следовательно, параметры распределения разности COG могут использоваться для косвенного измерения близких к нулю скоростей. Для этой цели более всего подходит средняя разность, нежели СКО.

Другой характеристикой разности COG как случайной величины служит вид гистограммы её распределения. На рисунке 4 приведены гистограммы распределения разностей COG для неподвижного приёмника GP-37 в Артёме (левая панель) и для скорости 0,1 узла парома «Бригадир Ришко».

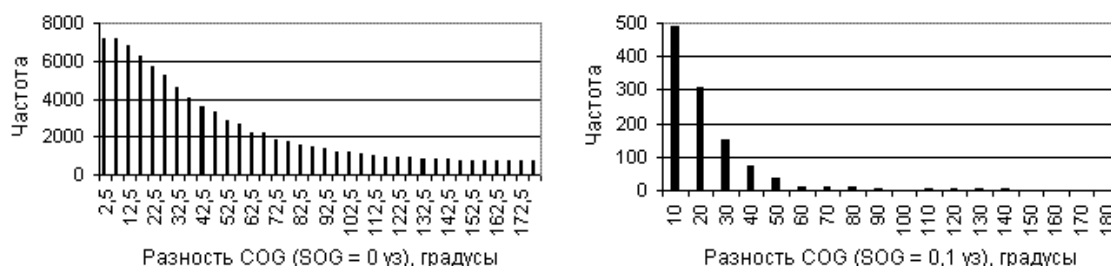


Рисунок 4 – Гистограммы распределений разностей COG

Затянутость правого крыла распределения разности COG при неподвижном носителе GPS-приёмника объясняет устойчивое значение средней разности, существенно превышающее значение средней разности COG движущегося носителя.

Представленные результаты обосновывают способ определения близкой к нулю скорости носителя приёмника СРНС Навстар GPS. Суть его состоит в непрерывном вычислении за определённый интервал времени среднего значения разностей COG. Чем больше среднее значение разностей COG, тем меньше модуль вектора абсолютного перемещения судна. Когда эксплуатируется приёмник GP-37, то при равенстве среднего значения разности 50,38 градусам судно будет считаться неподвижным относительно системы координат, принятой в СРНС Навстар GPS. Предлагаемый способ не лишён проблемы оперативности, связанной с длительностью интервала осреднения. Проблема оперативности требует отдельного исследования и связана с оценкой скорости сходимости осредняемой разности COG.

Предполагается, что с увеличением длительности интервала осреднения точнее вычисляется средняя разность. Иными словами, при увеличении числа наблюдений средняя разность COG должна сходиться по вероятности к математическому ожиданию разности. Для доказательства этого предположения введём следующие обозначения. Пусть $\Delta C_1, \Delta C_2, \dots, \Delta C_k, \dots, \Delta C_n$ – разности COG, принимаемые в качестве случайных величин. Обозначим через $M\Delta C_k$ математическое ожидание разности COG, а через ΔC_{cp} – среднее значение раз-

ности. В теории вероятностей для доказательства сходимости используется закон больших чисел. До недавнего времени для доказательства выполнения закона больших чисел на последовательность $\Delta C_1, \Delta C_2, \dots, \Delta C_k, \dots, \Delta C_n$ накладывались условия, среди которых обязательным было требование независимости случайных величин. Сравнительно недавно появилось доказательство теоремы, которая обосновывает выполнение закона больших чисел для произвольных случайных величин [4]. Условие теоремы сформулировано следующим образом: чтобы для последовательности $\Delta C_1, \Delta C_2, \dots, \Delta C_k, \dots, \Delta C_n$ как угодно зависимых случайных величин при любом положительном ε выполнялось соотношение

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ \left| \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta C_k - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n M \Delta C_k \right| < \varepsilon \right\} = 1 ;$$

необходимо и достаточно, чтобы при $n \rightarrow \infty$

$$M \frac{\left[\sum_{k=1}^n (\Delta C_k - M \Delta C_k) \right]^2}{n^2 + \left[\sum_{k=1}^n (\Delta C_k - M \Delta C_k) \right]^2} \rightarrow 0 .$$

Оперативность и чувствительность рассматриваемого способа будет зависеть от скорости сходимости ΔC_{CP} . Экспериментальная проверка скорости сходимости ΔC_{CP} проводилась на массивах данных, соответствующих отсчётам SOG 0 и 0,1 узла во время швартовок парома. Случайным образом из массивов выбирались фрагменты и для них по мере увеличения выборки с шагом 10 значений ΔC вычислялись ΔC_{CP} и СКО. Результаты вычислений представлены в виде графиков рисунка 5. На нём верхние графики соответствуют нулевому отсчёту SOG.

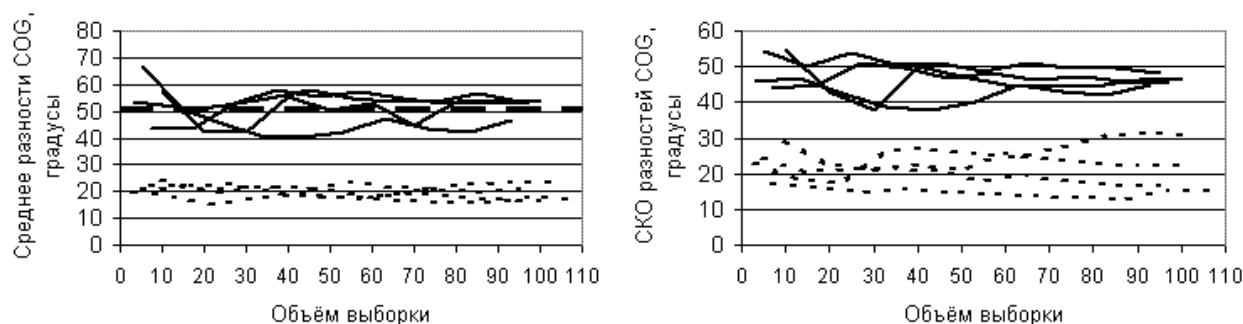


Рисунок 5 – Графики сходимости ΔC_{CP} (слева) и её СКО

Сопоставляя графики рисунка 5, можно сделать следующие выводы. Средние разности и их средние квадратические отклонения сходятся медленно. Уже при интервале осреднения в 10 с можно однозначно принимать решение о близости модуля вектора абсолютной скорости к 0 узлов. Более точно это можно делать с помощью ΔC_{CP} . Следовательно, диагностику остановки носителя GPS-приёмника GP-37 надо выполнять, используя только средние значения разностей СОГ, полученные на интервале осреднения не более 10 с.

Рассмотренный способ оценки близких к нулю скоростей носителей GPS-приёмников применим для решения задач динамического позиционирования крупных объектов в открытом море, вдали от станций дифференциальных подсистем. Способ применим также для мониторинга поверхностных течений с помощью дрейфующих GPS-буёв. Его можно использовать для определения начала или окончания движения широкого класса наземных и плавающих объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Department of Defense World Geodetic System 1984. DMA Technical Report TR 8350.2, U.S. Geol. Survey, Oct. -Second ed. -1993. -152 p.

2 Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: монография. В 2 т. Т.1 / К.М. Антонович; ГОУ ВПО «Сиб. гос. геодезич. акад.». -М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. -334 с.

3 Kaplan, E.D. Understanding GPS: principles and applications / E.D. Kaplan. -Boston; London: Artech House, 1996. -554 p.

4 Гнеденко, Б.В. Курс теории вероятностей / Б.В. Гнеденко. -М.: Наука, 1969. -400 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система Навстар GPS, GPS-приёмник, абсолютная скорость (SOG), разность путевых углов

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник ГОУ ВПО «МГУ им. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ГОУ ВПО «МГУ им. Г.И. Невельского»

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПЛАНОВЫХ КООРДИНАТ GPS-ПРИЁМНИКА GP-270ML КОНТУРНЫМ МЕТОДОМ

ГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского»

В.А. Кац, Ю.А. Комаровский

USING ENVELOPE METHOD TO ESTIMATE PRECISION OF PLANE COORDINATES OBTAINED WITH GPS-RECEIVER GP-270ML

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

V.A. Katz, Yu.A. Komarovskiy

We have obtained error envelopes for the plane coordinates obtained with the GPS-receiver GP-270ML. It has been shown that the traditional method of error estimation based on the ellipse of dispersion yields incorrect results for the GPS coordinates. We have uncovered influence of an antenna's pattern on the coordinates error distribution.

Keywords: Navstar GPS, accuracy of GPS-receiver, envelope method

Получены контуры погрешностей координат приёмника GP-270ML. Показано, что для оценки точности координат GPS-приёмников традиционный подход, основанный на эллипсе рассеивания, становится некорректным. Обнаружено влияние диаграммы направленности антенны GPS-приёмника на распределение погрешностей координат.

Традиционно в современном судовождении погрешности обсервованных плановых координат, получаемых от GPS-приёмников, принято представлять в виде набора статистических точечных и интервальных оценок, а также в виде гистограмм распределений. В работе [1] описаны параметры распределения плановых координат судового приёмника спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Навстар GPS GP-270ML компании Icom. На рисунке 1 представлены гистограммы распределения координат приёмника GP-270ML, полученные в ходе экспериментальных наблюдений с 25 сентября по 17 октября 2006 года на базе Артёмовской топографо-геодезической экспедиции вблизи пункта фундаментальной астрономо-геодезической сети (пункт ФАГС) «Владивосток».

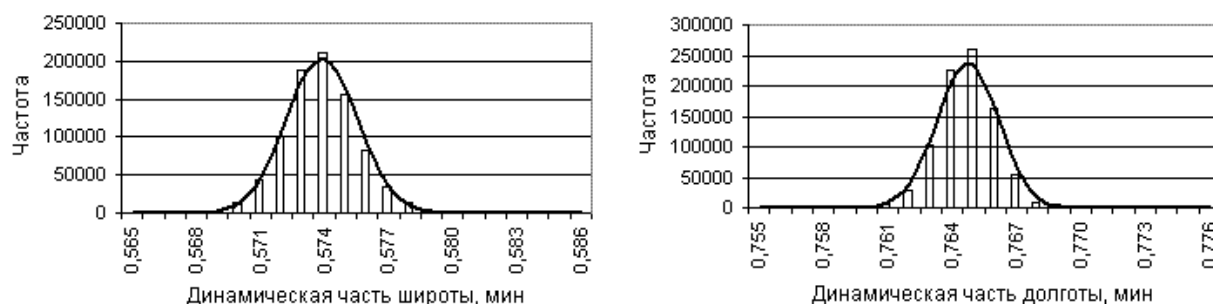


Рисунок 1 – Гистограммы распределения координат приёмника GP-270ML

На рисунке 1 видно, что эмпирические распределения частот обсервованных широт и долгот незначительно отличаются от теоретических частот гауссовского распределения, рассчитанных по точечным оценкам выборки, полученной с 25 сентября по 17 октября. Теоретические частоты вычислялись по следующей формуле [2]

$$n_i = \frac{Nh_i}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x_i - x_{cp})^2}{2\sigma^2} \right], \quad (1)$$

где n_i – теоретическая частота, соответствующая i -му интервалу варьирования случайной величины x (широты или долготы);
 N – объём выборки,
 h_i – ширина i -го интервала;
 σ – точечная оценка среднего квадратического отклонения (СКО) случайной величины;
 x_i – значение случайной величины, соответствующее середине i -го интервала;
 x_{cp} – точечная оценка математического ожидания случайной величины.

Рассчитанные статистические характеристики распределения обсервованных широт и долгот сосредоточены в таблице.

В большинстве исследований, посвящённых погрешностям измерений, априори принимается закон распределения Гаусса. При этом апеллируют к близости эмпирических частот к теоретическим частотам распределения. Раньше в судовождении невозможно было получить большое количество равнооточных измерений навигационных параметров.

Таблица – Параметры распределений координат GP-270ML в наблюдениях на пункте ФАГС «Владивосток» в 2006 году

Параметр	Координаты	
	Широта	Долгота
Максимальное значение, минуты	0,565	0,755
Минимальное значение, минуты	0,586	0,776
Размах варьирования, м	38,885	28,372
Среднее значение, минуты	0,57388	0,76473
Средняя квадратическая погрешность, м	3,099	1,745
Асимметрия	0,138	0,008
Эксцесс	0,240	0,767
Объём выборки	851381	851375

Поэтому принятие решения о действующем законе распределения обсервованных широт и долгот основывалось на традиционной технологии проверки статистической гипотезы. С появлением СРНС Навстар GPS и Глонасс за короткое время наблюдений можно получать объёмы выборок в сотни тысяч и более. Для больших выборок эмпирическая плотность распределения выглядит как истинная. На этом свойстве основан принцип эмпирической подстановки [3].

Пусть $f(\varphi)$ и $f(\lambda)$ – плотности распределения случайных величин широт и долгот соответственно. Тогда закон распределения вероятности того, что истинное место судна будет принадлежать поверхности, ограниченной некой фигурой, запишется следующим образом

$$P(0 < \varphi < 2\pi, 0 < \lambda < 2\pi) = \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\varphi, \lambda) d\varphi d\lambda = 1.$$

Если следовать традиционному способу оценки точности определения координат, получаемых с помощью приёмников СРНС Навстар GPS, то надо принять гауссовский закон распределения случайных величин φ и λ с плотностями

$$f(\varphi) = \frac{1}{\sigma_\varphi \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\varphi - m_\varphi)^2}{2\sigma_\varphi^2} \right]; \quad f(\lambda) = \frac{1}{\sigma_\lambda \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\lambda - m_\lambda)^2}{2\sigma_\lambda^2} \right],$$

где m_φ, m_λ – математические ожидания случайных величин φ и λ ;

$\sigma_\varphi, \sigma_\lambda$ – средние квадратические отклонения случайных величин φ и λ .

Обсервованное место судна представляет собой систему двух случайных величин. Так как система двух случайных величин изображается случайной точкой на плоскости, то закон Гаусса на плоскости выразится следующим образом в предположении корреляционной связи между φ и λ

$$f(\varphi, \lambda) = \frac{1}{2\pi \sigma_\varphi \sigma_\lambda \sqrt{1-r^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-r^2)} \left[\frac{(\varphi - m_\varphi)^2}{\sigma_\varphi^2} - \frac{2r(\varphi - m_\varphi)(\lambda - m_\lambda)}{\sigma_\varphi \sigma_\lambda} + \frac{(\lambda - m_\lambda)^2}{\sigma_\lambda^2} \right] \right\},$$

где r – коэффициент корреляции между φ и λ ,

$$r = \frac{K_{\varphi\lambda}}{\sigma_\varphi \sigma_\lambda}; \quad K_{\varphi\lambda} = \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} (\varphi - m_\varphi)(\lambda - m_\lambda) f(\varphi, \lambda) d\varphi d\lambda;$$

$K_{\varphi\lambda}$ – корреляционный момент.

Выполним операцию центрирования случайных величин и перейдём от их угловой меры к линейной. Обозначим преобразованные таким образом случайные величины через φ_m и λ_m

$$\varphi_m = (\varphi' - m_\varphi) \frac{a(1-e^2) \operatorname{arc} 1'}{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^3}}; \quad \lambda_m = (\lambda' - m_\lambda) \frac{a \cos \varphi \operatorname{arc} 1'}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}}, \quad (2)$$

где φ', λ' – координаты, выраженные в угловых минутах;

m_φ, m_λ – математические ожидания широты и долготы, выраженные в угловых минутах;

e – первый эксцентриситет референц-эллипсоида геодезической системы, в которой определяются наблюдаемые координаты;

a – большая полуось референц-эллипсоида, м.

После преобразования выражение плотности распределения на плоскости примет иной вид

$$f(\varphi, \lambda) = \frac{1}{2\pi \sigma_\varphi \sigma_\lambda \sqrt{1-r^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-r^2)} \left[\frac{\varphi_m^2}{\sigma_\varphi^2} - \frac{2r \varphi_m \lambda_m}{\sigma_\varphi \sigma_\lambda} + \frac{\lambda_m^2}{\sigma_\lambda^2} \right] \right\}. \quad (3)$$

Функция распределения вероятности того, что истинное место судна будет принадлежать данной поверхности, с учётом (3) запишется следующим образом

$$F(\lambda_m) = \frac{1}{2\pi \sigma_\varphi \sigma_\lambda \sqrt{1-r^2}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-r^2)} \left[\frac{\varphi_m^2}{\sigma_\varphi^2} - \frac{2r \varphi_m \lambda_m}{\sigma_\varphi \sigma_\lambda} + \frac{\lambda_m^2}{\sigma_\lambda^2} \right] \right\} d\varphi_m. \quad (4)$$

Показатель экспоненты в (4) является уравнением эллипса. Поэтому традиционно в судовождении фигурой погрешности, внутри которой располагается истинное место судна с заданной вероятностью, принимается эллипс рассеивания [4]. Коэффициент корреляции r задаёт угол α , под которым большая ось эллипса погрешностей пересекает параллель

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2r \sigma_\varphi \sigma_\lambda}{\sigma_\varphi^2 - \sigma_\lambda^2} = \frac{2K_{\varphi\lambda}}{\sigma_\varphi^2 - \sigma_\lambda^2}. \quad (5)$$

Когда оси эллипса рассеивания совпадают с параллелью и меридианом, то $r = 0$. Тогда выражение (4) упрощается

$$F(\lambda_m) = \frac{1}{2\pi \sigma_\varphi \sigma_\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{\varphi_m^2}{\sigma_\varphi^2} + \frac{\lambda_m^2}{\sigma_\lambda^2} \right] \right\} d\varphi_m. \quad (6)$$

Вероятность P нахождения истинного места судна внутри эллипса задаётся коэффициентом C [4]

$$P = \frac{1}{2} \int_0^{C^2} \exp \left(-\frac{t}{2} \right) dt = -\exp \left(-\frac{t}{2} \right) \Big|_0^{C^2} = 1 - \exp \left(-\frac{C^2}{2} \right). \quad (7)$$

Чтобы рассчитать размеры полуосей эллипса погрешностей для вероятности 0,95 или 0,68, необходимо полуоси стандартного эллипса, которые равны средним квадратическим отклонениям σ_φ и σ_λ , умножить на величины коэффициента C , равные 1,5 и 2,5 соответственно [4]. Размеры в метрах большей полуоси a и меньшей полуоси b эллипсов рассеивания наблюдаемых координат, получаемых от приёмников СРНС Навстар GPS, рассчитываются с учётом (2) по следующим формулам

$$a_m = C \sigma_\varphi \frac{a(1-e^2) \operatorname{arc} 1'}{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^3}}; \quad b_m = C \sigma_\lambda \frac{a \cos \varphi \operatorname{arc} 1'}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}}. \quad (8)$$

Так как эмпирические плотности распределения наблюдаемых координат судовых GPS-приёмников далеки от гауссовских, то в работе [5] был предложен и теоретически обоснован так называемый контурный метод расчёта размеров и формы фигуры рассеивания погрешностей, независимый от вида закона распределения. В работах [6, 7] авторами было показано, что реальная фигура погрешностей значительно отличается от эллипса погрешностей, традиционно применяемого в судовождении. Чтобы снизить влияние случайных погрешностей в наблюдаемых координатах и преодолеть низкую разрядность координат, в работе [8] был предложен способ уточнения границ контура. Работы [5-8] заложили основу для исследований распределения на плоскости погрешностей наблюдаемых координат су-

довым GPS-приёмником низкой точности. Примером такого приёмника служит GP-270ML. За исходный статистический материал был взят массив наблюдений, полученный с 25 сентября по 17 октября 2006 года на базе Артёмовской топографо-геодезической экспедиции вблизи пункта фундаментальной астрономо-геодезической сети (пункт ФАГС) «Владивосток». Там наблюдения проводились одновременно за работой приёмников GP-37 и GP-270ML.

Приёмник GP-270ML имеет разрядность представления координат 0,001 угловой минуты, что на порядок ниже разрядности GP-37. Существенно отличаются в большую сторону и средние квадратические отклонения координат приёмника GP-270ML. Поэтому в ходе обработки статистического материала, полученного от приёмника GP-270ML, применялся метод сглаживания данных с помощью простого скользящего среднего, применённого в работе [8]. На рисунке 2 представлены фигуры погрешностей обсервованных координат приёмника GP-270ML, рассчитанные контурным методом для окон сглаживания 1 минута (слева) и 2 минуты (справа).

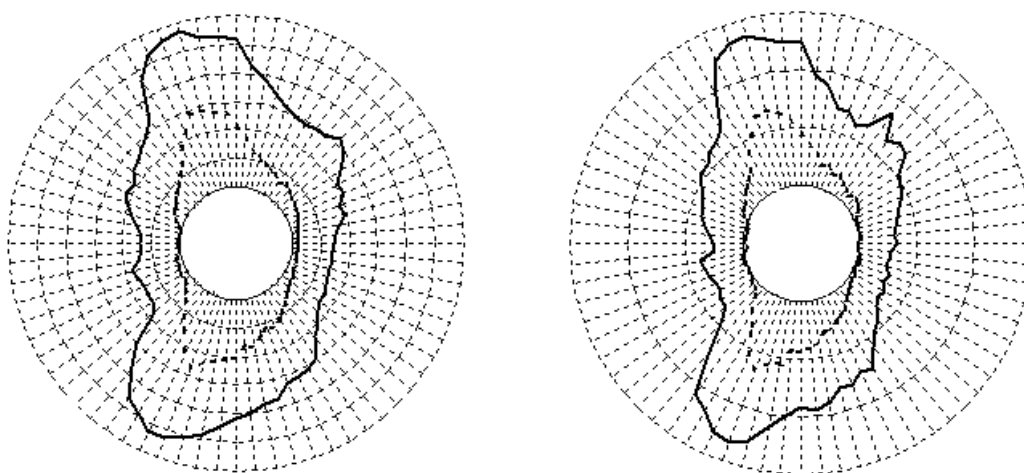


Рисунок 2 – Фигуры погрешностей координат приёмника GP-270ML

Внешние контуры (сплошные линии) соответствуют вероятности 0,95, внутренние контуры (пунктирные линии) – вероятности 0,68.

Анализ рисунка 2 позволяет сделать следующие выводы:

1 Полученные фигуры погрешностей даже в первом приближении нельзя признать эллипсами. Следовательно, для оценки точности определения обсервованных координат судовыми GPS-приёмниками традиционный метод (1)-(8) применять некорректно.

2 Формы фигур рассеивания обсервованных координат, рассчитанные для вероятностей 0,95 имеют заметные отличия. Формы фигур для вероятности 0,68 практически неразличимы.

3 Формы фигур погрешностей координат приёмника GP-270ML значительно отличаются от форм фигур приёмника GP-37, полученные в работе [8]. Сжатие фигуры приёмника GP-270 по параллели гораздо больше.

4 Контуры погрешностей приёмников GP-270 и GP-37 имеют практически одинаковую ориентацию больших полуосей. Это можно объяснить одинаковыми прохождениями спутников, так как наблюдения проводились одновременно.

5 Отличия форм фигур приёмников GP-270 и GP-37 можно объяснить влиянием диаграмм направленности их антенн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Комаровский, Ю.А. Оценка точности определения координат судовым GPS-приёмником GP-270ML / Ю.А. Комаровский // Материалы международной научно-практической конференции «Водные пути России: строительство, эксплуатация, управление», 1-2 окт. 2009 г. / ФГОУ ВПО СПГУВК. -СПб., 2009. -С. 85-89.

2 Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / В.Е. Гмурман. -Изд. 4-е, доп. -М.: Высш. шк., 1972. -368 с.

3 Бикел, П. Математическая статистика. Вып.2 / П. Бикел, К. Доксам. -М.: Финансы и статистика, 1983. -254 с.

4 Кондрашихин, В.Т. Теория ошибок и её применение к задачам судовождения / В.Т. Кондрашихин. -М.: Транспорт, 1969. -256 с.

5 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.

6 Кац, В.А. Контур погрешностей координат GPS-приёмника / В.А. Кац, Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -Новосибирск, 2008. -№1. -С. 133-137.

7 Кац, В.А. Влияние места установки антенны GPS-приёмника на точность определения координат / В.А. Кац, Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -Новосибирск, 2008. -№2. -С. 112-115.

8 Кац, В.А. Уточнение границ контура погрешностей координат GPS-приёмника GP-37 / В.А. Кац, Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -Новосибирск, 2009. -№1. -С. 175-179.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система Навстар GPS, точность GPS-приёмника, контурный метод

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кац Владимир Александрович, инженер ГОУ ВПО «МГУ им. Г.И. Невельского»

Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник ГОУ ВПО «МГУ им. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ГОУ ВПО «МГУ им. Г.И. Невельского»

ВЛИЯНИЕ НЕРОВНОСТИ ФАРВАТЕРА НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ КОРПУСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Ю.Н. Черепанов

INFLUENCE OF ROUGHNESS OF THE WATERWAY ON HYDRODYNAMIC CASE CHARACTERISTICS OF THE VESSEL

«Novosibirsk state academy of water transport»

Yu.N. Cherepanov

It is shown that results received on equal shoal have stabilising an effect on stability of a vessel on a course.

Keywords: vessel, shoal, hydrodynamic case forces, the port

Показано, что результаты полученные на ровном мелководье, оказывают стабилизирующие действие на устойчивость судна на курсе.

При движении судна на мелководье возрастают линейные составляющие поперечной силы и момента. Нелинейные составляющие поперечной силы и момента возрастают вследствие уменьшения относительного запаса воды под днищем $(h_0 - T)/T$, затрудняющего поперечное обтекание корпуса и увеличивающего отрывную составляющую коэффициента поперечной силы.

При движении судна по оси канала большой стесненности (ширина канала менее девяти ширин судна) и при неизбежном его зарыскивании в ту или другую сторону дополнительная стесненность фарватера по ширине оказывает влияние, аналогичное влиянию мелководья, то есть происходит резкое увеличение гидродинамических сил и моментов, зависящее от степени стесненности фарватера, расстояния до кромки судового хода и уклона стенки канала [1].

Если при движении в канале или реке судно придерживается кромки судового хода и если при этом оно движется параллельно кромке с нулевой или малым положительным углом дрейфа (нос судна дальше от кромки, чем корма), скорость протекания воды между судном и кромкой вследствие местного стеснения потока возрастает, а давление падает (наиболее значительно в районе кормы). В результате на судне развивается дополнительная поперечная сила $Y_{кр}$, направленная к кромке (сила подсасывания) и дополнительный момент $M_{кр}$, стремящийся развернуть нос судна от кромки. Это явление носит название «эффекта свободной воды».

Дополнительные усилия могут быть весьма значительными, «эффект свободной воды»

наиболее ярко проявляется в случае неровностей кромки судового хода и при ходе против течения. Как показывает опыт судовождения (в том числе автора по малым рекам), нос судна отбрасывает так стремительно, что рулевой не успевает выровнять курс судна, и оно наваливается носовой частью на противоположный берег реки.

Аналогичный «эффект глубокой воды» наблюдается при прохождении судном переката реки, когда судно излишне близко подходит к одной из кромок прорези судового хода и отрыскивает от нее.

Физическая сущность жалоб судоводителей на плохую управляемость судов на мелководье и плохую устойчивость на курсе заключается в частности в проявлении данного эффекта.

Результаты исследований на ровном мелководье [2] показывают, что оно оказывает стабилизирующее действие на теоретическую устойчивость судна на курсе. Этот вывод противоречит оценкам судоводителей, наблюдающим в практике известный эффект «отрыскивания от мели» («эффект свободной воды»). Этот эффект неоднократно наблюдался автором при вождении судов по малым рекам, например, по Пуру, Агану – притоку Оби и др.

Для наглядности оценки влияния мелководья на абсциссу ЦД в бассейне была смонтирована площадка длиной 18 м, шириной 4 м, высотой 1 м. Площадка была смонтирована в районе 2/3 длины бассейна. Таким образом, за один проход модели измерялся угол ее дрейфа на глубокой воде и на мелководье.

Таким образом, как показали предварительные испытания, судно на ровном мелководье становится теоретически более устойчивым на курсе и движется на прямом курсе с меньшим углом дрейфа, занимая меньшую полосу судового хода.

Эти выводы «примирили» науку с авторским опытом вождения судов в условиях широкого ровного мелководья на многокилометровых участках Обской губы ниже Надымского и Хаманельского баров.

Для дальнейших исследований на площадке в опытовом бассейне был установлен с правого борта откос берега под углом 45°. Эффект проявил себя с полной своей наглядностью. При движении на глубокой воде поперечной силы и момента нет. При входе на площадку поперечная сила (с точностью измерений) практически не изменялась, но момент, даже при нулевом установленном угле дрейфа, резко увеличивался влево.

Стеснение по ширине оценивается соотношением площади свободного сечения потока с борта в сторону берега S к площади миделя S_m

$$s = \frac{S}{S_m}.$$

Коэффициент момента на корпусе судна оценивается коэффициентом

$$k_s = \frac{1}{s \cdot 60000} - \frac{1}{60000}; \quad C_{mr_s} = C_{mr} \cdot k_s.$$

Ниже приведен график зависимости коэффициента k_s от относительной площади s .

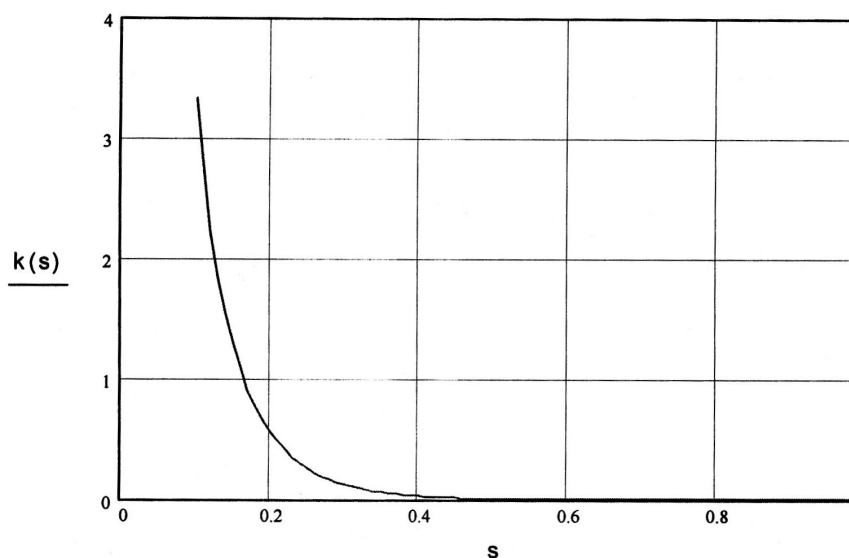


Рисунок – Коэффициент влияния стенки канала

Эта методика позволяет рассчитывать гидродинамические характеристики корпуса судна при его движении на мелководье и в мелководном канале.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Павленко, В.Г. Экспериментальное исследование гидродинамических характеристик речных судов в мелководном канале / В.Г. Павленко, В.В. Вьюгов // Экспериментальная гидродинамика судна / НТО СП. -Л., 1980. -Вып.322. -С. 25-26.

2 Вьюгов, В.В. Управляемость водоизмещающих речных судов / В.В. Вьюгов; Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск: НГАВТ, 1999. -260 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: судно, мелководье, гидродинамические корпусные силы, канал

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Черепанов Юрий Николаевич, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

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

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ МЕТОДОМ ИССЛЕДОВАНИЯ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.В. Викулов

PREDICTING THE RESIDUAL LIFE OF THE CRANKSHAFT MARINE DIESEL ENGINE RESEARCH METHOD OF TORSIONAL VIBRATIONS

«Novosibirsk state academy of water transport»

S.V. Vikulov

The mathematical model for predicting the residual life of the crankshaft of diesel by the study of torsional vibrations.

Keywords: diesel, lifespan, forecasting, torsional oscillations, mathematical model

Получена математическая модель прогнозирования остаточного ресурса коленчатого вала дизеля методом исследования крутильных колебаний.

Одним из критериальных узлов, лимитирующим моторесурс дизеля, является коленчатый вал, работающий в условиях многоциклового усталости при плоском напряженном состоянии (совместное действие изгиба и кручения). Исследования [1, 2] показывают, что коленчатые валы дизелей, отработавших назначенный ресурс без капитального ремонта, имеют еще достаточно большой ресурс по скорости изнашивания. В то же время минимальное прогнозируемое время до появления дефектов усталостной природы лишь в отдельных случаях превышает 10 000 ч. Исходя из сказанного, разработка надежных методов прогнозирования, позволяющих достоверно оценить остаточный ресурс коленчатого вала приобретает особую актуальность в условиях сложившейся кризисной ситуации на речном флоте.

В настоящей работе приведены результаты разработки математической модели прогнозирования ресурса дизелей методом исследования крутильных колебаний.

Условно напряжения, возникающие в материале вала при работе дизеля, можно разделить на статическую и динамическую составляющие. Первая определяется передаваемым средним моментом, вторая переменной частью передаваемого крутящего момента, на которую накладываются крутильные колебания. Таким образом, валопровод в нормальных условиях работает при асимметричном цикле напряжений. Вместе с тем условия работы судовых валопроводов, выполняемых обычно из углеродистой стали, таковы, что статическая часть напряжений оказывает сравнительно малое влияние, составляя менее 30% предела текучести материала при кручении [3].

При развитии сильных крутильных колебаний, например при резонансах, амплитуда цикла может значительно превышать его среднее напряжение, а характер нагрузки приближается к симметричному циклу, при котором предел выносливости практически определяется только амплитудой цикла нагружения. Поэтому для случая крутильных колебаний судовых валопроводов достаточно нормировать только динамическую часть напряжений или, как принято называть, напряжения от крутильных колебаний. В области речного судостроения нормирование параметров крутильных колебаний валопроводов осуществляется Правилами Российского Речного Регистра [4]. В целях прогнозирования ресурса коленчатых валов дизеля в работе [5] нами предлагается использовать в качестве нормативного критерия усталостной долговечности среднюю амплитуду крутильных колебаний A , получаемую по результатам статической обработки спектрограмм. Эта амплитуда, согласно закону Гука, пропорциональна напряжениям, поэтому для целей прогнозирования отпадает необходимость перевода её в напряжения. В этой же работе [5] описана измерительная аппаратура и методика обработки результатов измерений. Объектами исследований являлись эксплуатируемые дизели 6NVD26-A3 теплоходов типа «ОТ-600» проекта 1741 Омского речного порта.

Полученная нами линейная регрессионная модель (близкая к детерминированной, коэффициент корреляции 0,999) вида

$$A = 1,884 \cdot 10^{-4} \cdot \tau, \text{ рад}, \quad (1)$$

для массива исправных дизелей позволила построить алгоритм прогнозирования, схема которого представлена на рисунке.

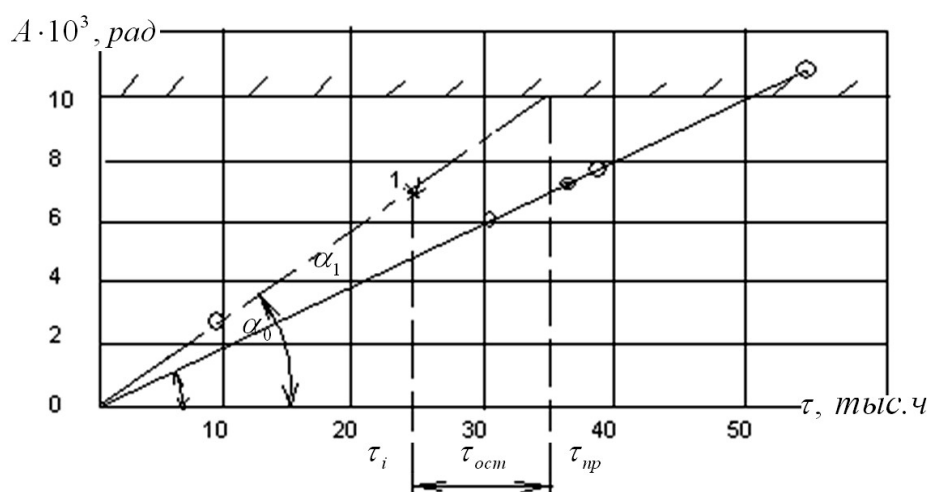


Рисунок – Схема прогнозирования

Остаточный ресурс определяется как

$$\tau_{\text{осм}} = \tau_{\text{пр}} - \tau_i, \quad (2)$$

где $\tau_{\text{пр}}$ – предельная наработка дизеля, тыс. ч;

τ_i – наработка дизеля на момент измерения, тыс. ч.

Считая, что полученная реализация (точка 1) также следует линейному закону, можно записать

$$\tau_{\text{осм}} = \frac{A_{\text{доп}} - A_i}{a_i}, \quad (3)$$

где a_i – угловой коэффициент, i -ой реализации,

$$a_i = \frac{A_i}{\tau_i}.$$

Тогда прогнозная формула будет иметь вид

$$\tau_{\text{осм}} = \frac{(A_{\text{доп}} - A_i)}{A_i} \cdot \tau_i = \left(\frac{A_{\text{доп}}}{A_i} - 1 \right) \tau_i. \quad (4)$$

На рисунке через α_0 и α_1 обозначены соответственно углы наклона регрессионной прямой вида (1) и гипотетической прямой реализации (точка 1). При этом $a_0 = \tan \alpha_0$, а $a_1 = \tan \alpha_1$.

По массиву полученных экспериментальных данных $A_{\text{доп}}$ принята нами равной 0,001 рад. Приведем пример вычисления. Пусть получена реализация (точка 1): $\tau_i = 24$ тыс. ч; $A_i = 0,0072$ рад. Тогда по формуле (4) получим $\tau_{\text{осм}} = 9,333$ тыс. ч.

В дальнейшем, по результатам накопленного опыта использования предлагаемой методики прогнозирования при эксплуатации дизелей, регрессионная модель вида (1), а также допустимая средняя амплитуда крутильных колебаний $A_{\text{доп}}$ могут корректироваться (уточняться) экспертным советом технического менеджмента судоходной компании. Продлевать ресурс целесообразно на период следующей навигации τ_H . Тогда необходимо выполнять условие, чтобы $\tau_{\text{осм}} > \tau_H \approx 2500$ ч (в зависимости от региона эксплуатации судов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 МIRONENKO, И.Г. Обеспечение безопасности эксплуатации судов / И.Г.МIRONENKO // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№2. -С. 225-228.
- 2 МIRONENKO, А.Г. Методические указания по обследованию судовых дизелей с истекшим назначенным ресурсом / А.Г. МIRONENKO, И.Г. МIRONENKO. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2004. -56 с.
- 3 АГУРЕЕВ, А.Г. Крутильные колебания и надежность судовых валопроводов / А.Г. АГУРЕЕВ, Ю.С. Баршай. -М.: Транспорт, 1982. -112 с.
- 4 Российский Речной Регистр. Расчет и измерение крутильных колебаний валопроводов и агрегатов: рук. Р.009-2004. -М.: Изд-во Моск. авиац. ин-та, 2004.

5 Викулов, С.В. Критерий усталостной долговечности коленчатого вала дизеля / С.В. Викулов, С.С. Глушков, С.В. Штельмах // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2008. -№1. -С. 201-202.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *дизель, моторесурс, прогнозирование, крутильные колебания, математическая модель*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Викулов Станислав Викторович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАСВТ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАСВТ»*

РАЗРАБОТКА СХЕМ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ДЛЯ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ СРЕДНЕЙ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

ГОУ ВПО «Омский государственный технический университет»
ТОО «Азияэнергоспроектмонтаж»

В.А. Глазырин, А.С. Ненишев, К.Н. Ахметов

WORKED OUT SCHEMES AND WATER CHEMICAL MODE TECHNOLOGY FOR AVERAGE POWER BOILERS

«Omsk state technical university»

«Asiaenergyassembling»

V.A. Glasyrin, A.S. Nenishev, K.N. Ahmetov

The scheme of water filtration with phosphorcontain complexes is worked out in it article.

Keywords: *scheme, technology, boiler*

Предлагается разработанная авторами схема очистки части воды от взвешенных веществ на механическом фильтре при использовании фосфорсодержащих комплексонов.

Водно-химический режим (ВХР) тепловых сетей как большого так и малого объема должен поддерживаться с соблюдением нормируемых показателей качества подпиточной и сетевой воды. Это позволяет поддерживать в допустимых пределах коррозию металла, а также минимальное накипеобразование [1]. Для тепловых сетей большого объема используются различные схемы очистки подпиточной воды, технология которых зависит от качества исходной воды. Учитывается схема подсоединения абонентов: открытого или закрытого разбора воды на горячее водоснабжение [2].

В схеме подготовки подпиточной воды тепловых сетей большого объема обязательно устанавливаются деаэраторы, которые обеспечивают удаление кислорода и свободной углекислоты [1]. Для тепловых сетей малого объема деаэрация воды не предусматривается.

При эксплуатации тепловых сетей в ближнем и дальнем зарубежье используются следующие основные схемы подготовки подпиточной воды [2]:

1 Подкисление исходной воды серной кислотой (H_2SO_4), декарбонизация, буферное катионирование (или без него), деаэрация. Обработанную воду необходимо дополнительно подщелачивать для поддержания величины pH на уровне норм [1].

2 Водород-катионирование при «голодном» режиме регенерации, буферное катионирование, декарбонизация, деаэрация. Применение водород-катионирования требует использования серной кислоты для регенерации катионита, следовательно, реагентное кислотное хозяйство.

3 Одноступенчатое натрий-катионирование, деаэрация, подщелачивание.

Все эти схемы в случае открытого водоразбора, предусматривают использование воды питьевого качества.

В настоящее время подавляющее большинство схем подготовки воды для подпитки тепловых сетей с закрытым водоразбором работают в режиме одноступенчатого натрий-катионирования с предварительной очисткой воды или без нее, при ее последующей деаэрации. Вода, полученная по этой схеме, при нагревании, в результате разложения бикарбонатного иона HCO_3^- загрязняется коррозионно опасной углекислотой (CO_2) и для связывания углекислоты в безопасные в коррозионном отношении соли, следует повышать величину pH воды подщелачиванием [3].

Для тепловых сетей большой емкости используются также схемы параллельного водород-натрий катионирования с декарбонизацией и деаэрацией. Схема используется при высокой жесткости и щелочности исходной воды.

Для тепловых сетей малого объема эти показатели также учитываются, однако прини-

маются во внимание, что эти тепловые сети работают в режиме максимально при температурах воды прямой 95 °С и обратной 70 °С [3].

Качество воды для подпитки и циркулирующей в тепловых сетях работающих в различных режимах нормируется по следующим показателям (таблица):

Содержание свободной угольной кислоты	0;
Значение рН для систем теплоснабжения	
– открытых	8,3-9,0;
– закрытых	8,3-9,5;
Щелочность по фенолфталеину, мг-экв/дм ³ , не более	
– для открытых систем	0,1;
– для закрытых систем	0,2;
Содержание растворенного кислорода, мкг/дм ³ , не более	
– в подпиточной воде	50;
– для воды циркулирующей в тепловых сетях	20;
Количество взвешенных веществ, мг/дм ³	5;
Содержание нефтепродуктов, мг/дм ³ , не более	1,0;
– для воды циркулирующей в тепловых сетях открытого типа	0,3;
– закрытого типа	1,0;
Содержание соединений железа, мг/дм ³ , не более	
– для открытых систем	0,3;
– для закрытых систем	0,5.

Таблица – Нормируемые значения карбонатного индекса воды для подпитки и воды циркулирующей в системе тепловых сетей малого объема (до 50 м³) с водогрейными котлами (с температура нагрева сетевой воды 70-100 °С), (мг-экв/дм³)²

Тип оборудования	Системы теплоснабжения	
	открытая	закрытая
Вода для подпитки тепловых сетей, с отопительным режимом работы котельной	3,2	3,0
Вода циркулирующая в системе тепловых сетей	3,2	3,2

Нижний предел величины рН в воде предусматривается более 8,3 в воде ограничивается необходимостью связывания свободной углекислоты, которая при наличии кислорода вызывает повышенную коррозию металла тепловых сетей [4].

Системы теплоснабжения малого объема (до 50 м³), используются в сельской местности, а также на небольших предприятиях для отопления собственного производства и отдельных зданий.

В РФ уже в течение ряда лет опытным порядком используются такие реагенты как фосфорсодержащие комплексоны. Это цинковый комплекс НТФ (НТФ-цинк) цинковая соль нитрилотриметилфосфоновой кислоты который выпускают по ТУ 2439-002-24210860-99) и цинковая соль оксиэтилидендифосфоновой кислоты – цинковый комплекс ОЭДФ (ОЭДФ-цинк) выпускаемый по ТУ 2439-001-242-10860-97) [5]. В концентрированном виде ОЭДФ, НТФ - кислые продукты, ингибиторов отложений минеральных солей (ИОМС) – продукт с нейтральной реакцией. Однако наиболее эффективным из фосфорсодержащих комплексонов следует считать ИНУФЕРС-422 завода изготовителя фирмы Хемиджулини.

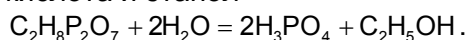
Фосфоросодержащие комплексоны предлагаются для снижения коррозии и накипеобразования и разработаны для использования их в системах охлаждения для различных производств. Так в энергетике их использовали как стабилизирующую добавку для предотвращения кальциевого накипеобразования в системе охлаждения конденсаторов турбин. Образуется комплексное соединение кальция высокой прочности с фосфоросодержащими комплексонами.

При температуре воды до 95 °С достаточная доза фосфоросодержащих комплексонов колеблется в пределах от 0,2 до 1,0 мг/дм³, при допустимых значениях сброса их в водоемы 2,5 мг/дм³. При такой дозе реагента и температурах воды скорость коррозии медьсодержащих сплавов и стали такая же, как если бы их не дозировали. Это объясняется тем, что организуемая на поверхности металла защитная пленка замедляет анодное растворение металла, фосфоросодержащие ингибиторы тормозят протекание и катодной реакции восстановления кислорода на стали. Фосфоросодержащие комплексоны являются ингибиторами

смешанного действия.

Механизм стабилизирующего действия заключается в адсорбции комплексонов на микророзродышах кристаллизующейся соли, что препятствует дальнейшему росту кристаллов и образования отложений.

Разложение солей ОЭФД и НТФ происходит при температуре около 210 °С, при этом образуется ортофосфорная кислота и этанол



Это следует учитывать, так как температура рабочей среды в водогрейном котле, при температурной разверке, может достигать 210 °С. Для бойлерных установок этот вопрос не очень актуален. С повышением температуры защитные свойства фосфоросодержащих комплексонов снижаются.

Однако уже сегодня можно с уверенностью говорить о невозможности применения фосфоросодержащих комплексонов в закрытых системах теплоснабжения без их определенной реконструкции. Причина в том, что фосфоросодержащие комплексоны ведут отмывку отложений, которые следует выводить из системы, в противном случае отложения в виде шлама накапливаются в тупиковых участках трубопроводов, а также там, где скорость движения воды замедляется, например, в нагревательных приборах. Это требует монтажа механического фильтра для удаления отмытых отложений.

В России испытывается установка магнитной обработки воды типа «Максмир», которая отличается от аппаратов на постоянных магнитах отличается широким диапазоном электромагнитного воздействия обеспечивающий стабильный противонакипный эффект. В аппарате имеется встроенная деаэрационная камера для удаления агрессивных газов (O_2 и CO_2). Кроме того, аппарат работает на воде с повышенным содержанием железа (до 2 мг/дм^3), а образовавшаяся ранее накипь растворяется. Потребляемая мощность около $1,5 \text{ Вт/м}^3$ обработанной воды обеспечивает существенную экономию энергоресурсов.

Авторами были проведены исследования состава воды на содержание солей жесткости, щелочности и величину pH, которая используется в различных населенных пунктах Павлодарской области.

В ряде населенных пунктов использующих воду из подземных источников, а также воду р. Иртыш карбонатный индекс в которой не превышает $3,2 \text{ (мг-экв/дм}^3)^2$. При закрытой системе теплоснабжения в этом случае рекомендуется следующая схема и технология ведения ВХР (рисунок 1).

На объекте в качестве исходного источника воды может быть водонапорная башня или имеется водоснабжение от постоянного источника, то есть постоянное давление с которым в период эксплуатации тепловых сетей по трубопроводу 1, 7, 8. Вода в башню подается глубинным насосом или отбирается для использования из системы водоснабжения потребителя. Особенности воды из подземного источника в том, что в ней практически отсутствует кислород, а содержание железа повышенное. В воде из поверхностного источника содержатся все примеси, в том числе и кислород.

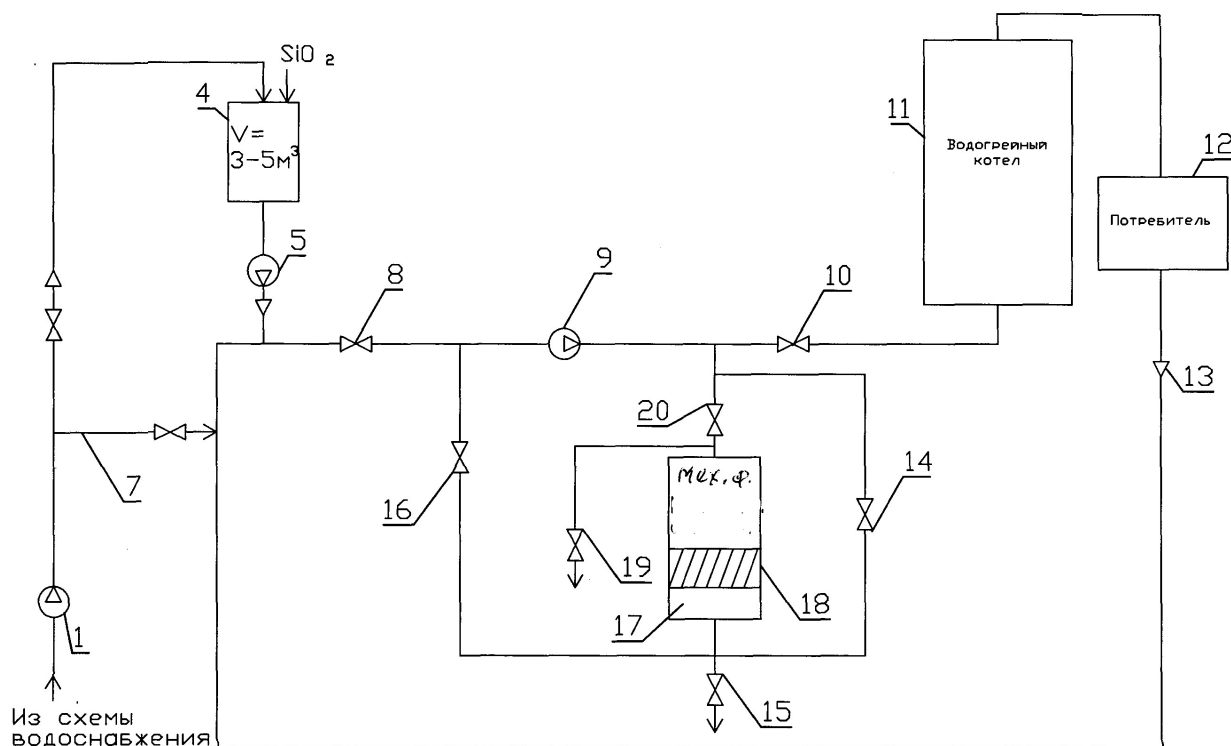
В обычных условиях эксплуатации вода отбирается из источника водоснабжения по трубопроводу 7 непосредственно на всас сетевого насоса 8. При отключении глубинного насоса вода подается непосредственно из водонапорной башни по трубопроводу с напором, создаваемым высотой водонапорной башни или из трубопровода водоснабжения потребителя.

Дополнительно устанавливается бак 4 объемом $2-5 \text{ м}^3$ для приготовления рабочего раствора реагентов и для их периодического дозирования монтируется насос 5. В баке 4 хранится аварийный запас воды для подпитки тепловых сетей. Подпиточный насос включают только при отсутствии воды в системе водоснабжения объекта или при подаче реагентов с систему теплоснабжения. Вода в бак 4, подается по трубопроводу. Сетевым насосом 8 вода тепловых сетей подается через водогрейный котел 10 к потребителю 12 и контур циркуляции замыкается по трубопроводу 13.

Фосфоросодержащие комплексоны и включение механического фильтра в работу производятся периодически. Режим работы установки выполняется при наладке установки.

Для удаления взвешенных веществ из воды тепловых сетей часть ее (около 5-10%) проходит очистку в механическом фильтре 17, загруженном антрацитом 18. Вода теплосети под давлением сетевого насоса 9 подается в механический фильтр по трубопроводу 20 и, пройдя очистку, по линии 16 поступает на вход сетевого насоса 9 обратно в тепловую сеть.

Периодически, для удаления уловленных взвешенных веществ, загрузка механического фильтра 18 взрыхляется водой теплосети из трубопровода 14 проходя через фильтр 17 со сбросом взрыхляющей воды через верхний дренаж фильтра 19.



1-подача исходной воды из трубопровода водоснабжения потребителя тепла, 4-подпиточный бак, 5-подпиточный насос, 7-трубопровод постоянной подачи подпиточной воды на вход сетевого насоса, 8-всасывающий трубопровод, 9-сетевой насос, 10-вентиль на напорной линии сетевого насоса, 11-водогрейный котел, 12-потребитель воды теплосети, 13-обратный трубопровод воды теплосети, 14-трубопровод взрыхляющей воды механического фильтра, 15-нижний дренаж механического фильтра, 16-подача очищенной воды тепловых сетей на всас сетевого насоса, 17-механический фильтр для удаления взвешенных частиц из воды тепловых сетей, 18-загрузка механического фильтра (антрацит), 19-верхний дренаж механического фильтра, 20-трубопровод подачи воды тепловых сетей на механический фильтр

Рисунок – Закрытая система теплоснабжения при наличии постоянного давления в системе водоснабжения у потребителя. Карбонатный Индекс менее 3,2 (мг-экв/дм³)². Используются фосфоросодержащие комплексоны

Периодичность взрыхления устанавливается при наладке установки в период эксплуатации. На установке следует смонтировать манометры на всасе и напоре сетевого насоса, а также на линии 16, возврата очищенной воды за механическим фильтром 17, по давлению которых определяется необходимость проведения взрыхления механического фильтра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. -М.: Энергоатомиздат, 1989. -287 с.
- 2 Рубашев, А.М. Зарубежный опыт противокоррозионной обработки воды теплосети / А.М. Рубашев, Ю.В. Балабан-Ирменин // Теплоэнергетик. -2001. -№8.
- 3 Инструкция по эксплуатации тепловых сетей / Союзтехэнерго. -М.: Энергия, 1972. - 28 с.
- 4 Нормы качества подпиточной и сетевой воды тепловых сетей: НР 34-70-051-83 / Союзтехэнерго. -М, 1984. -24 с.
- 5 Методические указания по стабилизационной обработке питательной воды паровых котлов, подпиточной воды систем теплоснабжения водогрейных котлов комплексонатами ОЭДФ-Zn, НТФ-Zn: МУ 1-322-03. -Ростов н/Д, 2003. -29 с.

6 Обзор европейской и североамериканской практики обработки воды / Центр энергет. технологий «CANMET». - Канада, 1996. - 67 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *схема, технология, котел*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Глазырин Василий Александрович, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГТУ»*

Ненишев Анатолий Степанович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

Ахметов Кайрат Нурсаинович, канд. техн. наук, генеральный директор ТОО «Азияэнергопроектмонтаж»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644050, г. Омск, пр. Мира, 11, ГОУ ВПО «Омский ГТУ»*

050014, Казахстан, г. Алматы, ул. Бокейханова, 53а, ТОО «Азияэнергопроектмонтаж»

ЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ ОТ СТРУКТУРНОГО ШУМА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

О.В. Щербакова, М.К. Романченко

PROTECTION OF OBJECTS FROM STRUCTURAL NOISE

«Novosibirsk state academy of water transport»

O.V. Scherbakova, M.K. Romanchenko

In article modern directions and methods for reducing structural noise are considered. Analyzes the domestic and foreign damping and sound-absorbing materials and designs.

Keywords: structural noise, vibration isolation, sound-absorbing designs, damping materials

Рассмотрены современные направления и методы по снижению структурного шума. Анализируются отечественные и зарубежные демпфирующие и звукопоглощающие материалы и конструкции.

Повышенный шум негативно воздействует на человека, снижает его работоспособность, влияет на качество и безопасность его труда. Несмотря на многолетние исследования в этой области, проблема снижения шума на судах до сих пор остается важной и актуальной, не решенной до конца задач.

Основными источниками структурного шума на судне являются работающее оборудование: главные двигатели, дизель-генераторы, гребные винты, насосы, системы кондиционирования воздуха, радионавигационное оборудование. Также к источникам шума можно отнести вибрирующие (колеблющиеся) поверхности механизмов, металлические пластины судна. Жесткое соединение механизмов и оборудования с корпусом судна, высокая звукопроводимость металлических корпусных конструкций, проникновение шума от источников внешней среды тоже способствует наличию структурного шума в обитаемых помещениях.

Главными направлениями в борьбе по снижению структурного шума являются виброизоляция и вибропоглощение [5].

Основное назначение виброизоляции заключается в установке специальных устройств, препятствующих распространению (или уменьшающих) звуковую вибрацию от источника распространения к защищаемому объекту. Виброизолирующие устройства включают упругие крепления механизмов (виброизоляторы), упругие муфты в валопроводах, гибкие патрубки в трубопроводах и так далее. Они должны ограничивать перемещения механизмов во избежание их соударений с близко расположенными конструкциями и обеспечивать надежную работу механизмов и систем.

Для виброизоляции главных двигателей и дизель-генераторов используют в основном три типа резинометаллических виброэлементов: виброизоляторы с наклонным расположением резинового элемента, рассчитанные на нагрузку 2 и 6,5 кН; виброизоляторы типа АКСС, АКСС-И грузоподъемной силой 2,2 и 4,0 кН и виброизоляторы на базе элементов ЭСА-100 [1, 5]. Эти виброизоляторы наиболее эффективны в рабочем диапазоне частот от 25 до 50 Гц. Достоинство всех резино-металлических виброизоляторов заключается в простоте их конструкции, в широком диапазоне изменения их упругих характеристик, в возможности произвольной ориентировки виброизоляторов относительно основания. Основные недостатки определяют особые свойства резины: при длительной эксплуатации наблюдается изменение динамических свойств, связанное со «старением» резины; ухудшение виброзащитных свойств в условиях, отличающихся от нормальных (повышенная, пониженная температура, влажность); наличие резонансных режимов; возможность защиты от вибрации

только на определенной нагрузке; большая поступательная и поворотная жесткость.

Виброизоляция дизель-генераторов осуществляют главным образом с помощью пружинных виброизоляторов типа АПрС. Он имеет страховку от перегрузок, рабочие частоты выше 10 Гц. Недостаток – большие габариты [1].

Резино-металлические виброизоляторы способны обеспечить минимальные частоты свободных колебаний вдоль вертикальной оси в диапазоне 10-20 Гц, пружинные 0,5-5 Гц [5].

Одним из перспективных направлений является использование в виброизоляторах упругого элемента, выполненного из металлического троса, предназначенных для эффективной защиты различных объектов от пространственных вибраций.

Основными преимуществами тросовых виброизоляторов являются их высокая прочность, способность работать в экстремальных условиях, высокий коэффициент рассеивания энергии, низкая себестоимость и простота конструкции, стабильность работы и эффективность при защите от ударных нагрузок.

Существующие на данный момент цельнометаллические тросовые виброизоляторы можно разделить по назначению на группы: применяемые для изоляции одного объекта от другого (чаще всего аппаратуры от основания); применяемые для выборочной передачи нагрузок в соединениях (крутящего момента в соединениях валов); применяемые для поглощения энергии кратковременных ударов [3].

По конструкциям тросовые виброизоляторы также можно разделить на группы: предполагается наличие двух или более разъемных пластин, между которыми укладывается «змейкой» и зажимается цельный отрезок троса; трос навивается в виде спирали – СТБР (спирально-тросовый виброизолятор рядный), СТВС – (спирально-тросовый виброизолятор сборный); виброизоляторы колокольчикового типа [6].

В результате проведенных испытаний, преимущества виброизоляторов СТБР по сравнению с амортизаторами типа АКСС: повышенная эффективность по снижению структурного и ударного шума 6-12 дБА, снижение низкочастотной вибрации на 5-6 дБ [3].

Основные недостатки спирально-тросовых виброизоляторов это перетирание волокон тросов и остаточные деформации.

Амортизаторы из композиционных материалов свойства, которых могут быть обеспечены подбором материала и связующих полимеров, не имеют пока зарубежных аналогов.

Упругие элементы композитных амортизаторов изготавливаются из стекловолокна с эпоксидной смолы. Эксплуатация устройств АСК-500 под дизель-генератором ДГ-200 подтвердила их высокую надежность в эксплуатации.

Анализ виброакустических характеристик резино-металлических, спирально-тросовых и композитных амортизаторов позволяет сделать следующие выводы: амортизаторы типа АСК и СТВ являются более эффективными средствами виброзащиты по сравнению с резино-металлическими амортизаторами типа АКСС [6].

Для уменьшения передачи шума через неопорные связи и увеличения надежности работы виброизолированных дизелей в валопроводах главных двигателей используют эластичные муфты, а в трубопроводах гибкие патрубки и вставки.

Ослабление структурного шума в судовых помещениях оценивают по виброизолирующей способности соединения. Виброизолирующая способность равна разности уровней параметров вибрации на пояске фундамента при жестком и виброизолирующем креплении двигателя [5]. Однако на практике удастся определить только перепад уровней вибрации, т.е. разность между уровнями параметров вибрации конструкции над виброизоляторами и на пояске фундамента под ними.

Одним из важных направлений борьбы с шумом на судах является использование звукопоглощающих панелей зашивки судовых помещений.

Как в отечественном, так и в зарубежном судостроении используются для отделки помещений модульные системы обстройки (таблица 1).

К числу наиболее известных из них относятся: INEXA PANELAS (Дания/Швеция), Isolamin (Швеция), отечественные М-100 и «Росун» [2, 4]. В настоящее время, помимо каркасных систем обстройки (М-100), широко используются бескаркасные модульные системы, обладающие более простой технологией монтажа панелей в судовом помещении.

Суммарное снижение шума при комплексном использовании звукоизолирующих перегородок плавающего пола и потолочных панелей достигает 40-50 дБ.

Отечественные модульные системы «Росун» имеют элементы обстройки, обеспечивающие звукоизоляцию 30-45 дБА, предусмотренную отечественными санитарными норма-

ми. Однако элементы подволока существенно уступают по звукоизоляции образцам ведущих фирм, такие изделия как палубные панели отсутствуют полностью [2].

Таблица 1 – Звукоизоляция элементов модульных систем > L,

Наименование	Панель стеновая	Подволока	Палубные панели
М-100 (Россия)	30; 45	–	–
«Росун» (Россия)	30; 46	30	–
INEXA PANELAS (Дания/Швеция)	32-44	44;60	45
Isolamin (Швеция)	28-47	39-52	55;56
NORAC (Норвегия)	30-48	48-62	–
PARMA MARINE (Финляндия)	30-50	–	–

Одной из лучших модульных систем обстройки судовых помещений является система INEXA [2]. В ней используются шумопоглощающие панели типа TNF 2SM для перегородок. При толщине 50 мм имеет индекс звукоизоляции разделительной конструкции 32-44 дБ. Кроме того, разработаны элементы плавающего пола TNF FS, имеющие стальную поверхность, к которой прикреплен специальный звукоизоляционный материал, что обеспечивает индекс звукоизоляции 44 дБ. Суммарная звукоизоляция при использовании перегородок, системы потолков и плавающего пола достигает 60 дБ.

Слабым элементом всех модульных систем является конструкция дверей. Наличие в перегородках дверей снижает индекс звукоизоляции на 20-23 дБА [2].

Установлено, что жесткие соединения образуют между вибрирующим корпусом и стенками помещений «звуковые мостики», по которым часть энергии колебаний передается стенками без ослабления. Такое соединение следует применять, когда требуемое снижение уровней шума не превышает 12 дБА. Виброизолирующие соединения препятствуют передаче энергии колебаний от корпуса к стенкам изолируемых помещений, их используют, чтобы снизить уровни шума более чем на 12 дБА.

Если уровни шума, изолируемого помещения ограждающими корпусными конструкциями, отличаются между собой не менее 8 дБ и их необходимо снизить более чем на 12 дБ, то рекомендуется виброизолировать обшивку и перегородки всего помещения. Такое помещение называется «плавающим».

Одним из эффективных средств защиты от структурного шума, являются вибродемпфирующие материалы (таблица 2), наносимые на корпусные конструкции, каналы вентиляции, опорные детали приборной техники.

Наибольшее распространение получили в отечественном судостроении: покрытие «Випоком»; материал «Випонит» снижает уровень вибрации на 10-20 дБ, шума на 6-12 дБ; мастики «Мавип», «АДЕМ-Т», «АДЕМ-НШ-2» снижающие в среднем уровни вибрации и шума на 5-8 дБ. Все перечисленные материалы соответствуют государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам.

Таблица 2 – Вибродемпфирующие материалы

Название	Коэффициент потерь
«Випоком» – виброакустическое покрытие	0,18
«Мавип» – мастика полимерная вибропоглощающая	0,15
«Адем» – мастика вибропоглощающая	0,19
«Випонит» – материал листовой, листы соединены полимерной прослойкой ВПС	0,16-0,40

Защита объектов от структурного шума, решается комплексно: это проектирование судна с максимальным удалением источников шума от обитаемых помещений, использование виброизоляции, демпфирующих и звукопоглощающих материалов и конструкций, а также повышение требований к акустическим параметрам самих механизмов и оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Барановский, А.М. Виброизоляция дизелей речных судов / А.М. Барановский. - Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2000. -176 с.
- 2 Современные модульные методы обстройки судовых обитаемых помещений / Е.А. Бахабов [и др.] // Вестн. технологии судостроения. -1999. -№5. -С. 68-72.

3 Применение спирально-тросовых виброизоляторов для оборудования морских объектов / Э.Г. Берестовицкий [и др.] // Судостроение. -2008. -№5. -С. 42-43.

4 Губанова, Е.В. Обеспечение звукоизоляции обитаемых помещений судов и кораблей с помощью модульных элементов обстройки / Е.В. Губанова, Е.В. Яник // Вестн. технологии судостроения. -2003. -№11. -С. 48-51.

5 Изак, Г.Д. Шум на судах и методы его уменьшения / Г.Д. Изак, Э.А. Гомзиков. -М.: Транспорт, 1987. -303 с.

6 Пономарев, Ю.К. Многослойные цельнометаллические виброизоляторы с упругими элементами регулярной структуры / Ю.К. Пономарев, В.И. Калакуцкий. -Самара: СГАУ, 2003. -198 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: структурный шум, виброизоляция, звукопоглощающие конструкции, демпфирующие материалы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Щербакова Ольга Валерьевна, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Романченко Михаил Константинович, канд. техн. наук, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

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

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К УЛАВЛИВАНИЮ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ДИЗЕЛЬНОЙ САЖИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.П. Пушкин, А.А. Костюшкина

INTEGRATED APPROACH TO CAPTURE AND USE OF DIESEL SOOT

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.P. Pushnin, A.A. Kostushkina

The subject of the soot particles coagulation after diesel atmospheric valve to capture its and one of the devices for this purpose considered, as well as put a point of selected diesel soot industrial use.

Keywords: diesel, soot, capture

Рассмотрен вопрос коагуляции частиц сажи после выпускного клапана дизеля с целью ее улавливания и одно из возможных устройств для этой цели, а также поставлен вопрос промышленного использования отобранной дизельной сажи.

Сажу можно рассматривать с двух позиций:

- как токсичный компонент уходящих газов энергетических установок;
- как ценный продукт, применяемый в ряде отраслей промышленности и, прежде всего, при производстве всех резиновых изделий.

Таким образом, имеется противоречие. С одной стороны для получения продукта в печах, реакторах, горелочных камерах сжигают углеводородное сырье. С другой стороны подобный продукт выбрасывается, особенно в больших количествах с выпускными газами дизелей.

Установки, применяемые для улавливания сажи при ее производстве громоздки. Полное перенесение принятых решений применительно к дизелям, установленным на судне, невозможно. Можно взять какую-то часть этих решений и, соответственно, снизить степень улавливания. Следует также рассматривать другие решения с удовлетворительной степенью улавливания. Это может быть оправдано, если отобранная сажа будет востребована. Одновременно будет снижен и ущерб окружающей среде.

При выполнении ряда исследований с различными топливами, в том числе описанными в работе [1], сажа дизеля 1Ч8,5/11 улавливалась при помощи мультициклона. Использовался аппарат с шестью тангенциальными циклонами с размерами входных отверстий 30×6 мм. Противодействие на выходе равнялось 4 кПа. Сажесодержание выпускных газов составляло 1,0-1,1 г/м³. При этом улавливалось приблизительно 25% сажи.

Сажа, отобранная мультициклоном при работе дизеля на дизельном летнем топливе и моторном топливе ДТ, была разбита на фракции по размерам. Она просушивалась при температуре свыше 100 °С и дважды просеивалась с помощью вибросита в течении 15 минут.

Результаты фракционного анализа представлены на рисунке 1. Насыпная плотность

определялась без специального гранулирования сажи.

Процент частиц брался по массе. Более крупные частицы как малопрочные (особенно сажи дизельного топлива) на гистограммах не представлены, за 100% принималось суммарная масса частиц размером до 400 мкм. В результате исследовалось примерно 75-80% из общей массы отобранных частиц. Взятые диапазоны размеров d_a частиц обусловлены размерами ячеек сит.

В соответствии с рисунком 1 в диапазоне от 50 до 400 мкм различные размерные фракции сажи одного и того же топлива имеют мало отличающуюся насыпную плотность. Это агрегаты третичных структур сажи. Насыпная плотность частиц размером менее 50 мкм больше почти в 2 раза. Очевидно, в этом диапазоне, кроме агрегатов третичных структур сажи, имеются более плотные агрегаты вторичных структур.

В работе [2] определено, что для сажи дизельного топлива минимальный диаметр агрегатов вторичных структур сажи, которые могут быть улавливаемы устройствами, использующими инерцию частицы, составляет 2 мкм. Минимальный условный диаметр агрегатов третичных структур сажи, улавливаемых такими устройствами, равен 7-8 мкм. Частицы, взятые из мультициклона, значительно крупнее. Напрашивается вывод, что они объединились до требуемого для улавливания размера на входе в циклоны. До более крупных размеров они объединились внутри мультициклона. Значит, частицы дизельной сажи после выпускного клапана не потеряли способности к коагуляции.

Коагуляция частиц сажи, не отклоняющихся от потока перед препятствием, каковым в данном случае является вход в циклон, подтверждается экспериментом [3]. Здесь в потоке частичного отбора дымовых газов газотрубного оборотного котла КОАВ 63 была установлена мишень, которую можно было поворачивать и изменять площадь щели между мишенью и стенкой. При уменьшении щели до определенного значения началось интенсивное оседание на мишени третичных структур сажи. В данном случае препятствие привело к сближению частиц и их коагуляции. Однако местное уменьшение проходных сечений не должно быть таким, чтобы создавать значительное сопротивление движению газов. Поэтому следует рассмотреть и другие способы сближения частиц.

Примером такого способа является осаждение частиц на поверхностях. Известен канальный способ производства промышленной сажи, при котором сажа, получаемая в горелочных камерах, естественным образом оседает на металлических осадительных поверхностях [4, 5] и снимается скребками. Температура в горелочной камере над сажесборной платформой 400-480 °С, то есть примерно как у выпускных газов дизелей. В товарную сажу переходит всего 3,0-3,5 % углерода при сжигании метана. В дизелях химический недожог может быть 1-3% или по отношению к углероду 1,2-3,5%.

Аналогом осадительных поверхностей в дизеле являются внутренние поверхности выпускных труб. Сажа на этих поверхностях оседает, но использовать их напрямую вряд ли удастся. Нужно создавать специальные аппараты, решив ряд вопросов:

– устройство не должно занимать много места при достаточно большой площади осадительных поверхностей;

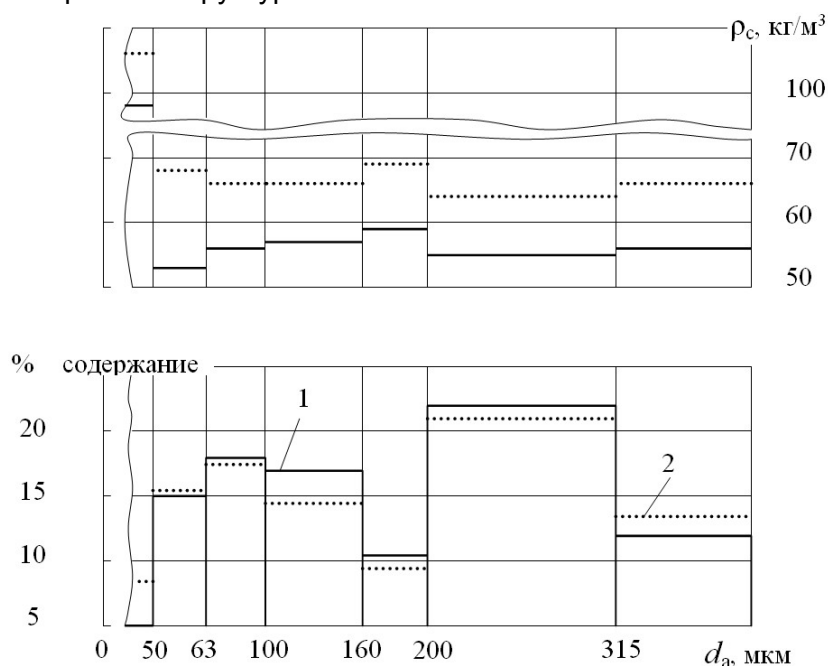


Рисунок 1 – Фракционный состав агрегатов сажи, отобранных из мультициклона и их насыпная плотность: 1-сажа дизельного летнего топлива; 2-сажа моторного топлива ДТ

- создать поток, направляющий сажу на эти поверхности;
- необходимо найти способ съема сажи с осадительных поверхностей.

При разработке систем улавливания сажи нужно принимать технически простые решения. Для этого не следует ставить цели получения высокого процента улавливания сажи, и получение результата в 50% можно считать вполне удовлетворительной задачей. Количество сажи m , кг, которое можно взять с одного дизеля за навигацию можно определить по следующей формуле

$$m = 0,85 C_b g_x b_e P_e k_c \tau,$$

где C_b – содержание углерода в топливе;

g_x – коэффициент химического недожога;

b_e – удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч);

P_e – номинальная эффективная мощность двигателя, кВт;

k_c – коэффициент улавливания сажи;

τ – продолжительность навигации, ч.

Для примера, с одного главного двигателя 6ЧН18/22, в среднем за навигацию можно отобрать 670 кг сажи. При промышленном производстве такого количества сажи в специальных печах с выходом сажи 25% пришлось бы сжечь примерно 2680 кг дорогого сырья нефтяного происхождения.

При производстве различных типов сажи (кроме канальной) смесь сажи и газов отделяют в специальных аппаратах. Большое распространение получили электрофилтры, эффективность которых равна 90-98%. В них создаются электрические поля потенциалом несколько десятков киловольт. Возможность использования самих электрофилтров с дизелями, установленными на транспорте, проблематична, но некоторые принятые в них конструктивные решения представляют интерес. В частности, в электрофилтрах свободно подвешивается значительное количество осадительных стержней (в электрофилтрах они являются и электродами). Для освобождения стержней от осевшей сажи применяется отряхивание, осуществляемое соответствующим механизмом, а при необходимости и ручное.

На рисунке 2 показана предполагаемая конструкция аппарата для осаждения, начального отбора сажи выпускных газов дизеля, а также коагуляции частиц перед поступлением в мультициклон.

Для направления потока газа на стержни предложено устройство, аналогичное воздухо-направляющему устройству котлов. Это устройство закручивает поток. Колебания подвески при отряхивании стержней предполагается осуществлять воздействием на стержень 5 с возвратом при помощи пружины, расположенной с внешней стороны аппарата. Одно из

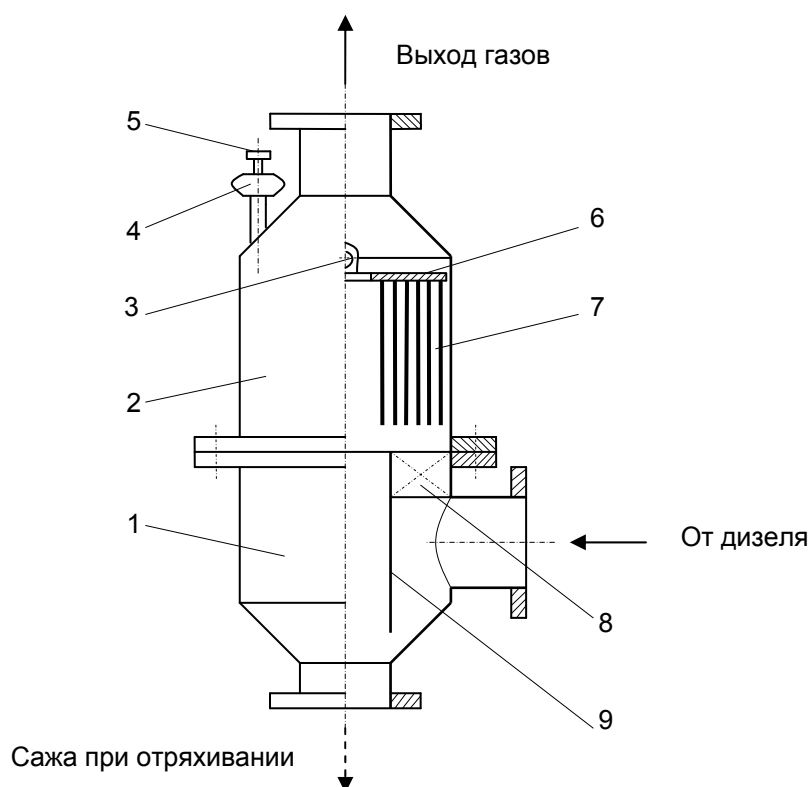


Рисунок 2 – Аппарат для осаждения и коагуляции частиц дизельной сажи: 1-корпус с газонаправляющим устройством; 2-корпус с осадительными стержнями; 3-ось подвески; 4-гофрированное уплотнение; 5-стержень колебания подвески; 6-подвеска; 7-осадительные стержни; 8-газонаправляющее устройство; 9-ограждающая труба

возможных решений при этом – использование электромагнита.

В соответствие с рассмотренными материалами представляются следующие направления дальнейших исследований:

1 Продолжение изучения свойств дизельной сажи.

2 Сопоставление свойств дизельной и промышленной сажи.

3 Поиск возможных потребителей дизельной сажи.

4 Разработка и исследование устройств, коагулирующих частицы сажи до агрегатов третичных структур размером не менее 7-8 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Пушкин, В.П. О выборе критерия для прогнозирования газоабразивного износа посадочной фаски выпускных клапанов дизелей // Повышение эффективности технической эксплуатации СЭУ / труды Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп, -Вып.161. -Новосибирск, 1982. -С. 91-99.

2 Пушкин, В.П. Структура и энергия агрегатов дизельной сажи в потоке отработавших газов // Двигателестроение. -2009. -№4. -С. 31-35.

3 Пушкин, В.П. Отбор агрегатов вторичных структур сажи // Сибирский научный вестник / Новосибирский научный центр «Ноосферные знания и технологии» Российская Академия естественных наук. -Вып.VIII. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2005. -С. 72-76.

4 Кельцев, В.В. Сажа. Свойства, производство, применение / В.В. Кельцев, П.А. Теснер. -М.-Л.: Гостоптехиздат, 1952. -172 с.

5 Зуев В.П., Михайлов В.В. Производство сажи. – М.: Химия, 1965. – 277 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизель, сажа, улавливание

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Пушкин Валерий Петрович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГавт»
Костюшкина Алина Алексеевна, студент ФГОУ ВПО «НГавт»

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

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ МЕЖФАЗНОГО ОБМЕНА ТЕПЛОМ И ИМПУЛЬСОМ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Учреждение РАН «Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича» СО РАН

ООО «Сиб Мир»

**В.И. Кузьмин, А.А. Михальченко, Е.В. Картаев, А.И. Бекетов,
С.Н. Иванчик, И.С. Иванчик, Р.В. Исаенко**

WAY OF INCREASE OF INTENSITY OF AN INTERPHASE EXCHANGE OF HEAT AND AN IMPULSE AT A PLASMA DUSTING

«Novosibirsk state academy of water transport»

«Khristianovich Institute of theoretical and applied mechanics» Siberian branch of Russian academy of sciences

«Sib the World»

V.I. Kuz'min, A.A. Mihal'chenko, E.V. Kartaev, A.I. Beketov, S.N. Ivanchik, I.S. Ivanchik, R.V. Isaenko

The results of designing the annular injection unit and the experimental cycle using this unit for the thermal treatment of powder materials have been presented. The assemblage of the annular injection unit is accurately fit with the 50 kW DC plasma gun having been developed previously. It was shown that in contrast to the one-point injection the annular unit with a gas-dynamic focusing guarantees a dense axisymmetric heterogeneous flow (in correct mode of plasma treatment all the powder particles should cross a thermal high-speed axial zone of plasma jet). From the performed analysis the advantages of powder distributed annular injection are clearly seen, it doesn't disturb a out flowing plasma jet substantially and allows one to lengthen a powder treatment zone in comparison with the one-point powder injection.

Keywords: way of increase, interphase exchange, plasma dusting

Приведены результаты разработки и исследования узла кольцевого ввода порошковых материалов в поток термической плазмы. Конструкция узла спроектирована под разработанный ранее электродуговой плазматрон постоянного тока номинальной мощностью 50 кВт. Показано, что в отличие от точечного ввода, кольцевой ввод с газодинамической фокусировкой обеспечивает плотный осесимметричный гетерогенный поток (при правильном режиме все частицы порошка должны прохо-

дить через высокотемпературную и высокоскоростную приосевую область плазменной струи). Из проведенного сравнительного анализа хорошо видны преимущества распределённого кольцевого ввода, который незначительно возмущает свободно истекающую струю плазмы и позволяет существенно увеличить зону обработки порошка по сравнению с точечным вводом.

На сегодняшний день самым распространённым способом ввода обрабатываемого порошкового материала в поток термической плазмы, генерируемой каким либо технологическим плазмотроном, является точечный поперечный ввод (как правило, под углом 90° к оси плазменного потока) через трубку-шихтопровод на срез выходного сопла или через отверстие в самом сопле. Указанный способ ввода порошка вносит существенные возмущения в несущий поток, что увеличивает взаимодействие струи плазмы с окружающей средой и, следовательно, приводит к быстрой диссипации высокотемпературной области струи, искажению радиального температурного профиля [1]. Возникающая при этом неоднородность полей температуры и скорости в струе плазмы приводит к появлению в её сечениях частиц, имеющих существенные отличия по тепловой и кинетической энергии и даже находящихся в различных агрегатных состояниях. А это, естественно, значительно снижает качество покрытий при плазменном напылении. Кроме того локальный точечный ввод имеет очень низкий КПД использования энергии плазменной струи, который обычно не превышает 6% [2].

Попытки создания конструкции плазмотрона с аксиальным вводом частиц через отверстие в катоде успеха не имели, так как в этом случае сам порошковый материал и его пары существенно влияют на характеристики и устойчивость дугового разряда. Так же серьёзным препятствием на пути реализации данной схемы является осаждение обрабатываемого материала на стенках разрядного канала плазмотрона.

На наш взгляд для получения осесимметричного высокотемпературного гетерогенного потока перспективным использование узла кольцевого ввода обрабатываемого порошкового материала. В этом случае осесимметричный радиально-сходящийся поток частиц непосредственно за зоной анодной привязки дугового разряда позволит существенно увеличить эффективность взаимодействия потока плазмы с порошковым материалом, что значительно повысит качество и производительность обработки материала. Как показывают теоретические расчёты [3], использование узла кольцевого ввода позволяет увеличить, по сравнению с односторонним точечным, эффективность нагрева частиц и максимальную производительность обработки более чем на порядок.

Первые публикации по использованию узлов распределённого ввода, где порошковый материал подаётся в плазменный поток по кольцевой щели, появились уже более 20 лет назад. Так в работе [4] приводится схема оригинального устройства, содержащего помимо кольцевой щели для ввода порошкового материала дополнительную кольцевую щель для подачи фокусирующего газа. Но, несмотря на это, на сегодняшний день примеров какого-либо широкого использования таких устройств, или существования серийного плазменного оборудования, укомплектованного плазмотронами с узлами кольцевого ввода порошковых материалов, нам не известно. Возможно, это связано с проблемами организации устойчивого равномерного распределения порошкового материала по кольцевой щели, зарастания щели порошком и продуктами эрозии анода, формирования высокотемпературного гетерогенного потока с малым углом раскрытия.

Несомненная перспективность распределённого ввода порошкового материала через кольцевую щель и существование указанных выше проблем послужили основанием для разработки оригинального узла кольцевого ввода и проведения соответствующих исследований. Несмотря на то, что разработанный узел ввода имеет много общего с конструкцией узла, схема которого приведена в [4], принцип организации равномерного распределения порошка по периметру кольцевой щели разработанного нами устройства является оригинальным.

Конструкция узла кольцевого ввода спроектирована под разработанный ранее электро-дуговой плазмотрон постоянного тока номинальной мощностью 50 кВт. Плазмотрон выполнен по линейной схеме с секционированной межэлектродной вставкой (МЭВ), которая обеспечивает, по сравнению с плазмотронами с самоустанавливающейся длиной дуги, существенно большее рабочее напряжение, хорошую осевую симметрию плазменной струи и минимальный уровень пульсаций его параметров. Плазмотрон рассчитан на работу как в турбулентном, так и в ламинарном режиме (рисунок 1), что позволяет максимально поднять скорость истечения плазменной струи при напылении металлических порошков и макси-

мально увеличить время пребывания частиц в потоке плазмы при напылении керамических материалов.

На сегодняшний день проведены испытания и выполнена серия экспериментов с узлом кольцевого ввода для термообработки (в частности напыления) керамических порошковых материалов.

В качестве рабочих газов (плазмообразующий, защитный, транспортирующий, фокусирующий) использовался воздух. Плазмообразующий газ подавался в канал плазмотрона тангенциально со стороны катода при помощи кольца закрутки. Защитный газ подавался в зазор между последней секцией МЭВ и анодом также тангенциально через кольцо закрутки.

Фотографии гетерогенных потоков и порошка Al_2O_3 (40 мкм) до обработки (исходный) и после обработки в плазменной струе (кольцевой и точечный ввод порошка) представлены на рисунок 2.

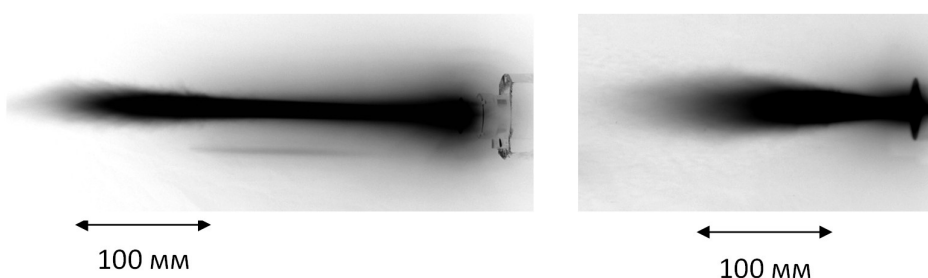


Рисунок 1 – Режимы истечения плазменных струй (негатив): а)- ламинарная; б)- турбулентная

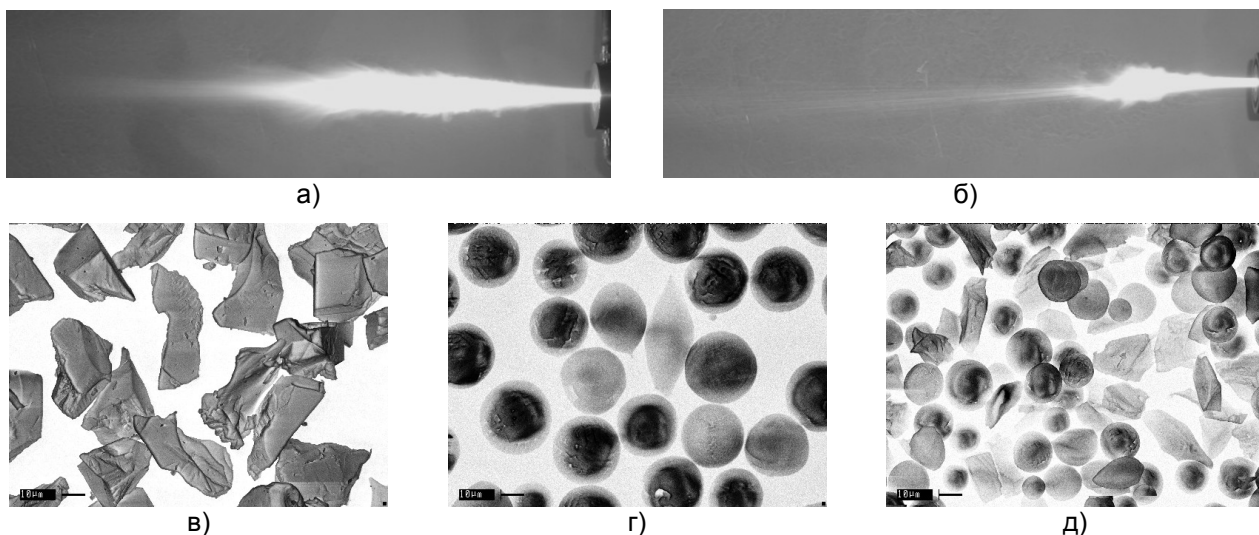


Рисунок 2 – Сравнение эффективности обработки при кольцевом и точечном вводах порошка (негатив): а)-кольцевой ввод порошка с газодинамической фокусировкой; б)-точечный ввод порошка; в)-исходный порошок Al_2O_3 ; г)-после плазменной обработки при кольцевом вводе; д)-после плазменной обработки при точечном вводе

Хорошо видно, что в отличие от точечного ввода, кольцевой ввод с газодинамической фокусировкой обеспечивает плотный осесимметричный гетерогенный поток (при правильном режиме все частицы порошка должны проходить через высокотемпературную и высокоскоростную приосевую область плазменной струи).

Порошок вводился в плазменную струю и на дистанции приблизительно 1,5 м от среза сопла собирался в воду. По степени сфероидизации можно судить об эффективности нагрева (плавления) частиц. На рисунке представлены фотографии порошка, обработанного на режиме:

- ток дуги 200 А;
- напряжение на дуге 250 В;
- расход плазмообразующего газа $1,5 \cdot 10^{-3}$ кг/с;
- расход Al_2O_3 2 кг/ч.

Приведённые фотографии хорошо иллюстрируют преимущества кольцевого ввода порошка (степень сфероидизации частиц практически 100%). Причём необходимо отметить, что, как правило, при точечном вводе порошка на плазмотронах мощностью до 50 кВт напыление керамических покрытий проводится при небольших расходах плазмообразующего га-

за (до 1 г/с), так как для полного проплавления материала необходимо увеличивать время пребывания тугоплавких, с низким коэффициентом теплопроводности, частиц порошка в плазменном потоке. Полное проплавление частиц порошка при увеличенном расходе плазмобразующего газа (1,5 г/с и более), в случае использования узла кольцевого ввода, обеспечивает существенно большую скорость напыляемого материала и, соответственно, повышенное качество плазменных покрытий. Это хорошо подтверждает проведенный технологический эксперимент, заключающийся в напылении покрытий на образцы. Так при напылении на образцы одних и тех же размеров при абсолютно идентичных режимах толщина покрытия, при использовании узла кольцевого ввода с газодинамической фокусировкой, оказалась на ~50% больше, чем при точечном вводе, что говорит о существенно большем коэффициенте использования материала.

Таким образом, из проведенного сравнительного анализа хорошо видны преимущества распределенного кольцевого ввода, который незначительно возмущает свободно истекающую струю плазмы и позволяет существенно увеличить зону обработки порошка по сравнению с точечным вводом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Оптимизация ввода дисперсного материала в поток термической плазмы плазматрона для напыления защитных и износостойких покрытий / А.И. Бекетов, В.И. Кузьмин, Е.В. Картаев, А.А. Михальченко, Р.В. Исаенко // Сиб. науч. вестн. -Новосибирск, 2009. -Вып. XII. - С. 148-151.

2 Клубникин, В.С. Электротермические плазменные устройства и процессы напыления порошковых материалов: дис. ... д-ра техн. наук / В.С. Клубникин; ЛПИ им. М.И. Калинина. – Ленинград, 1985. -447 с.

3 Солоненко, О.П. Межфазный обмен теплом в условиях радиально-кольцевой инъекции дисперсного материала в поток плазмы / О.П. Солоненко, А.Л. Сорокин // Изв. СО АН СССР. Сер. Техн. наук. -Новосибирск, 1990. -С. 75-82.

4 Способ плазменной обработки и плазматрон: пат.: WO 90/12123 / Ермаков С.А., Карасёв М.В., Клубникин В.С., Масленников В.М., Соснин Н.А., Тополянский П.А., Фёдоров С.Ю.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: способ повышения, межфазный обмен, плазменное напыление

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кузьмин Виктор Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Михальченко Александр Анатольевич, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник «ИТПМ» СО РАН

Картаев Евгений Владимирович, канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник «ИТПМ» СО РАН

Бекетов Александр Игоревич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Иванчик Сергей Николаевич, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Иванчик Илья Сергеевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Исаенко Роман Владимирович, инженер ООО «Сиб Мир»

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

630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1, «ИТПМ» СО РАН

630108, г. Новосибирск, ул. Станционная, 30а, оф. 812, ООО «Сиб Мир»

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ГОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»

А.А. Воробьев, И.А. Иванов, А.А. Соболев

WORKING OUT OF RECOMMENDATIONS ABOUT RESTORATION OF DETAILS OF THE ROLLING STOCK OF THE RAILWAY TRANSPORTATION

«Petersburg state transport university»

A.A. Vorobyev, I.A. Ivanov, A.A. Sobolev

In article questions connected with repair of internal cylindrical surfaces rolling stock suspension are considered.

Keywords: repair, microstructure, zone of thermal influence, internal cylindrical surfaces

Рассмотрены вопросы, связанные с ремонтом внутренних цилиндрических поверхностей люлочного подвешивания подвижного состава.

На предприятиях железнодорожного транспорта традиционным способом ремонта изношенных деталей подвижного состава является электродуговая наплавка. На кафедре «Технология металлов» ПГУПСа была создана автоматическая наплавочная установка УНП-01Р, позволяющая эффективно наплавлять люльечные подвески в автоматическом режиме [1]. Эскиз люльечной подвески представлен на рисунке 1.

Буквой А на эскизе обозначена зона износа. Подвеска изготовлена из стали 45, высота ее проушины составляет 50 мм, а диаметр после предварительной расточки – 80 мм. Наплавка осуществляется самозащитной порошковой проволокой ПП-СП 10 при постоянном токе обратной полярности.

Наплавка проушины осуществляется при вертикальном положении оси последовательным наложением кольцевых валиков снизу вверх в непрерывном режиме. Металлографические исследования проводились на образцах, вырезанных из четырех проушин, наплавленных при различных режимах. Заготовки, используемые в дальнейшем для приготовления микрошлифов, вырезались из наплавленной проушины перпендикулярно к поверхности наплавки. При этом каждая заготовка разрезалась на две части поперек наплавки и от полученной «половинки» отрезалась внешняя часть, не представляющая исследовательского интереса, поскольку главные роли в оценке качества наплавки играют сам наплавленный слой, линия сплавления и относительно узкая зона термического влияния, претерпевающая высоко-температурный нагрев.

На рисунках 2-4 приведены фотографии микроструктур, выполненные на двух образцах. Металлографические исследования образцов, вырезанных из восстановленных проушин, показали, что при выбранных режимах наплавленный металл по всей высоте проушины имеет феррито-перлитную структуру. Размеры зерен сопоставимы с размерами зерен основного металла (№ 9-10 по шкале 1 ГОСТ 5639-82) и имеют столбчатое строение с ориентацией кристаллов перпендикулярно стенке отверстия.

В нижней части проушины (рисунок 2) хорошо просматривается узкая граница перемешивания основного и наплавленного металлов, не имеющая структурных аномалий. Это свидетельствует о хорошей свариваемости основного и наплавочного металлов, отсутствии в зоне термического влияния структурных последствий перегрева, а также закалочных структур.

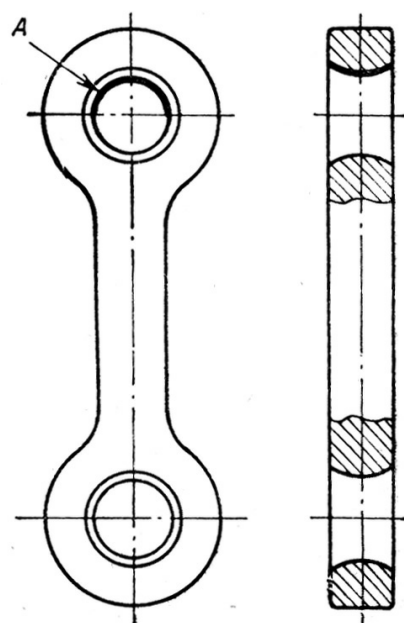


Рисунок 1 – Эскиз люльечной подвески

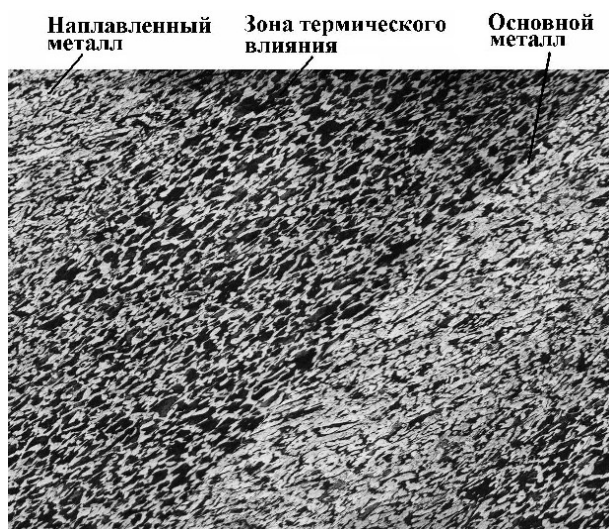


Рисунок 2 – Микроструктура образца из восстановленной проушины (нижняя часть)

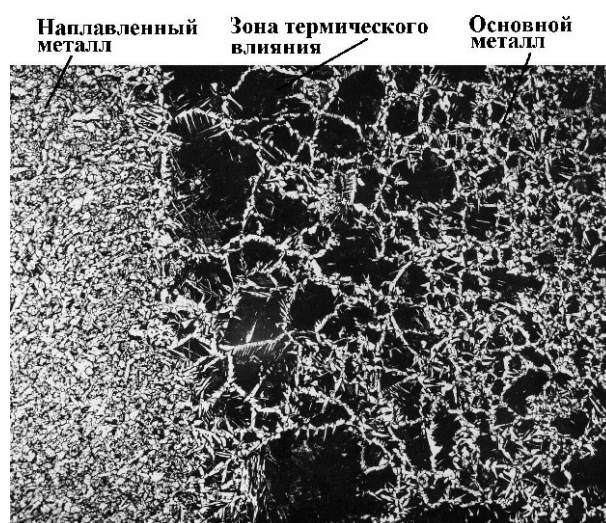


Рисунок 3 – Микроструктура ($\times 100$) образца из восстановленной проушины (20-25 мм от кромки)

По мере удаления от нижней кромки проушины картина меняется. На расстоянии 20-25 мм от кромки появляется характерная крупнозернистая зона перегретого металла (до №1 по дополнительной шкале 2 ГОСТ 5639-82), примыкающая к наплавленному и плавно переходящая в основной металл (рисунок 3). Эта зона расширяется кверху проушины и имеет структуру Видманшкетта, состоящую из крупных зерен перлита с выделением по их границам игл феррита [2]. Очевидно, что с ростом теплонасыщения проушины возрастает время пребывания металла в условиях высоких температур и замедляется его охлаждение в интервале фазовых превращений. Следует отметить, что предварительные опыты показали невозможность использования в приведенной установке напряжения наплавки ниже 31 В. Низкая погонная энергия процесса приводит к локальным несплавлениям основного и наплавленного металла, а также к образованию шлаковин в нижней части наплавляемой проушины.

Таким образом, с одной стороны необходимо обеспечить достаточный прогрев нижней части проушины. С другой стороны желательно снизить тепловую нагрузку на верхнюю часть проушины. С целью выявления особенностей термического цикла наплавки были проведены теоретические и экспериментальные исследования термического цикла наплавки, которые показали характер развития тепловых полей [3]. Вследствие этого представляется целесообразным производить наплавку на изменяющемся режиме.

С целью уменьшения структурной неоднородности по высоте проушины опробовались режимы наплавки, изменяющиеся в сторону уменьшения в процессе ее выполнения. Этим обеспечивалось уменьшение эффективной тепловой мощности дуги и, таким образом, снижение температуры наплавляемой поверхности в конце наплавки по сравнению с наплавкой при постоянном напряжении. После нанесения первых двенадцати валиков напряжение на дуге снижалось до 27 В.

Эти изменения режима никак не влияют на структурообразование в нижней части проушины, но улучшают структуру в верхней ее части (снижение размера зерна до №2 по дополнительной шкале 2 ГОСТ 5639-82). При этом сокращается протяженность зоны термического влияния, уменьшается размер перлитных зерен, ферритная окантовка не имеет игл (рисунок 4). Можно утверждать, что изменение режимов в процессе наплавки способствует снижению структурной неоднородности наплавленного слоя и зоны термического влияния.

Следует отметить, что разное увеличение микроструктур в приведенной работе обусловлено масштабным фактором. Крупное зерно в верхней части проушины не позволило использовать увеличение $\times 100$, ввиду невозможности охвата характерных зон наплавки.

Выводы:

1 При непрерывной наплавке внутренних цилиндрических поверхностей в ЗТВ наблюдается рост зерна в верхней части проушины.

2 Для уменьшения размера зерна в верхней части проушины целесообразно снижать погонную энергию наплавки на завершающей стадии.

3 Управляемый режим наплавки является перспективным направлением развития технологии наплавки.

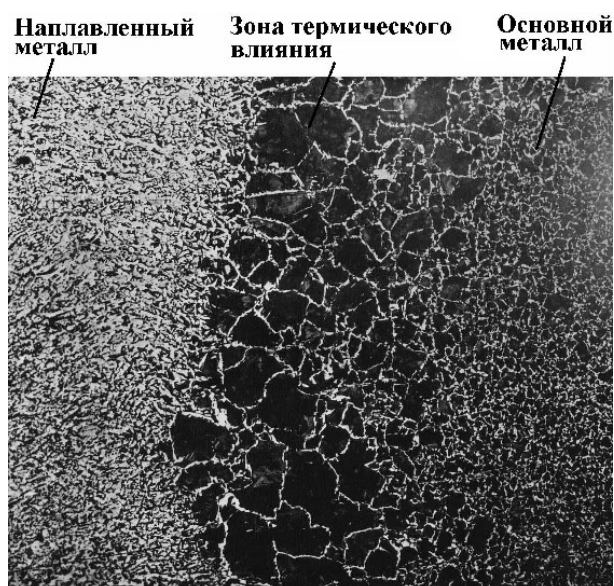


Рисунок 4 – Микроструктура ($\times 100$) образца из восстановленной проушины (20-25 мм от кромки) при изменении режима наплавки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Попов, В.С. Новые технологии восстановления наплавкой деталей подвижного состава / В.С. Попов // Конструктивно-технологическое обеспечение надежности подвижного состава: сб. науч. тр. / ПГУПС. -СПб., 1994. -С. 93-96.
- 2 Болховитинов, Н.Ф. Атлас микро- и макроструктур металлов и сплавов / Н.Ф. Болхо-

вителинов, Е.Н. Болховитинова. -М.: Машгиз, 1959. -22 с.

3 Sobolev, A. Welding thermal cycle analysis for swing suspension hangers / A. Sobolev // New technologies and construction in transportation: intern. Scientific Seminar POLISH-CZECH REPUBLIC-RUSSIA, Katowice-Ostrava, 13-19 may 2000 year. -P. 73-75.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ремонт, микроструктура, зона термического влияния, внутренние цилиндрические поверхности

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Воробьев Александр Алфеевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «ПГУПС»
Иванов Игорь Александрович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «ПГУПС»
Соболев Александр Альбертович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «ПГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 190031, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 9, ГОУ ВПО «ПГУПС»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

ГОУ ВПО «Челябинское высшее военное автомобильное командно-инженерное училище»

В.В. Руднев

INCREASE OF EFFICIENCY OF POWER-PLANTS OF THE MUNICIPAL TRANSPORTATION
«Chelyabinsk higher military automobile command-engineering school»
V.V. Rudnev

Article is devoted to the description of the device and a principle of work of engines with the direct pressurization, capable not only to provide on a mode of braking accumulation of energy as compressed air under a high pressure, but also the subsequent application of this energy for speeding up of the engine on peak modes, and as consequence, increase of efficiency of power-plants of a municipal transportation.

Keywords: engine, power-plant, municipal transportation, pressurization, recuperation, accumulation, efficiency, diesel

Статья посвящена описанию устройства и принципа работы двигателей с непосредственным наддувом, способных не только обеспечить на режиме торможения накопление энергии в виде сжатого воздуха под высоким давлением, но и последующее применение этой энергии для форсирования двигателя на пиковых режимах, и как следствие, повышение эффективности силовых установок городского транспорта.

В последнее время все большее внимание уделяется вопросам повышения экономических и экологических показателей городского транспорта. Силовые установки городских автомобилей эксплуатируются большую часть времени на неэкономичных режимах: холостого хода – в пробках и у светофоров, пиковых нагрузок – во время начала движения и маневрировании. Возникает проблема, так как двигатели внутреннего сгорания (ДВС), применяемые в качестве силовых установок автомобилей, имеют высокие экономические и экологические показатели на установившихся режимах работы.

Решением этой проблемы является совершенствование автомобильных силовых установок (СУ) в направлениях связанных с повышением их экономичности и снижения токсичности на неустановившихся режимах работы. Радикальным методом решения этой проблемы является реализация принципиальной возможности аккумулирования и утилизации энергии в форме теплоты, содержащейся в отработавших газах, например в тепловых аккумуляторах, когенерационных установках, различных расширительных машинах и двигателях Стирлинга [2]. Такое решение может обеспечить повышение коэффициента полезного действия (КПД) СУ на 15-30%, а также существенно снизить токсичность отработавших газов. Поскольку другие способы совершенствования тепловых двигателей в направлении повышения их КПД к настоящему времени практически исчерпаны, а практическое применение этого метода в автомобильных СУ достаточно проблематично [1].

В связи с ограниченностью резервов совершенствования СУ, как энергопреобразующей системы, целесообразен анализ надсистемных факторов, а именно критериев эффективности автомобиля в целом и их взаимосвязи с выходными показателями СУ.

Эффективность современных легковой автомобиля равна:

$$K_3 = \frac{C_o \sum \Pi_{M_i} T_i}{\Pi_{3m} T_o \sum C_i}, \quad (1)$$

где Π_{M_i} – текущая производительность;

- T_i – текущие основные затраты;
 C_i – текущее время работы;
 $P_{эм}$ – эталонная производительность;
 T_o – эталонные затраты;
 C_o – эталонная долговечность агрегата.

Для анализа преобразуем выражение (1) в следующий вид [1]

$$K_э = \frac{G_{m_o} \sum P_{m i} T_i}{P_o T_o \sum G_{m i}} = \frac{\overline{P}_{м экс}}{\overline{G}_{т экс}} \overline{T}_1 + \overline{T}_2, \quad (2)$$

где P_o, G_{m_o} – эталонные производительность автомобиля и эксплуатационный расход топлива при реализации оптимальной тягово-скоростной характеристики;

$\overline{P}_{м экс}$ – относительная средняя производительность;

$\overline{G}_{т экс}$ – относительный эксплуатационный расход топлива;

$\overline{T}_1$ – относительное время работы автомобиля;

$\overline{T}_2$ – относительное время работы автомобиля при достижении эталонных показателей,

$$\overline{T}_1 + \overline{T}_2 \leq 1.$$

Практика эксплуатации легковых автомобилей показывает, что их характеристики, близкие к эталонным ($\overline{T}_2 = 0$), практически не реализуются, коэффициент использования мощности двигателя составляет 0,3-0,5 при существенном ухудшении экономичности и повышении токсичности. Причины указанного состоят в том, что номинальная мощность двигателя выбирается не по требуемой величине для преодоления основных сопротивлений движению, а по величине требуемой для кратковременных разгонов. В результате эффективность легкового автомобиля составляет не более $K_э = 0,2-0,4$. В то же время, в технике для других транспортных средств, эффективность, как характеристика степени соответствия реализуемого эффекта применения потенциальному, находится на уровне не ниже $K_э = 0,75-0,8$ [1].

Таким образом, с позиций целесообразности расходования ресурсов, СУ легкового автомобиля недостаточно эффективна, особенно в городе. Для реализации концепции городского автомобиля, которая позволит существенно повысить его эффективность, необходимо сформулировать концепцию его СУ. Её главными положениями являются:

– целесообразность максимально возможного снижения мощности теплового двигателя и оптимизации его рабочих режимов для повышения экономичности и снижения токсичности отработавших газов;

– необходимость аккумулирования энергии отработавших газов и инерции движения автомобиля с ее последующим использованием для обеспечения требуемых динамических показателей автомобиля;

– возможность частичного восстановления запаса энергии за счет внешнего источника.

Одним из методов частично выполняющим эти положения является увеличение массового наполнения цилиндра двигателя воздухом накопленным в процессе работы или на режимах торможения двигателем.

Применительно к двигателям с газотурбинным наддувом, предлагается подключение дополнительного источника энергии для привода компрессора при обеспечении поршневого двигателя необходимым количеством наддувочного воздуха в соответствии с нагрузкой и повышение приемистости на переходных режимах работы двигателя [3].

Решение поставленной задачи достигается тем, что в выпускной системе поршневого ДВС (рисунок 1) устанавливается газовая турбина, а на входе во впускной коллектор компрессор для нагнетания воздуха [2]. Газовая турбина и компрессор имеют один вал с высокочастотным электрическим мотор-генератором, который на установившихся режимах работы двигателя приводится в действие от газовой турбины, и как электрический генератор вырабатывает электрическую энергию для заряда аккумуляторной батареи, а на переходных режимах работает как электрический мотор, получающий электрическую энергию от аккумулятора для привода компрессора. Управление режимами работы высокочастотного электрического мотор-генератора осуществляется через блок управления в зависимости от импульсов датчика частоты вращения коленчатого вала и датчика органа управления двигателем.

Имеется возможность заряжать аккумулятор от внешнего источника.

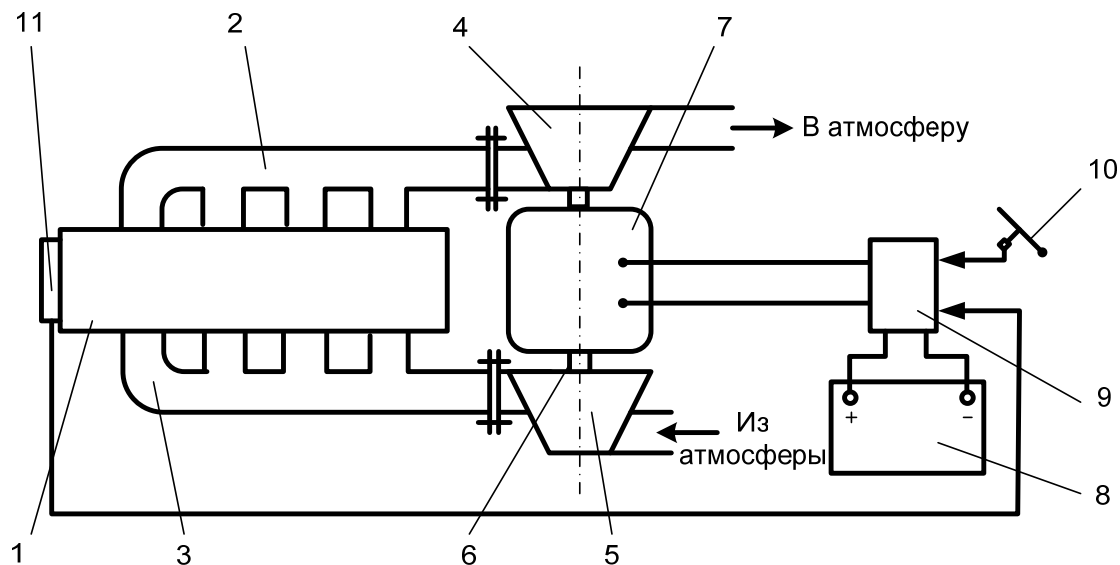


Рисунок 1 – Дизель с газотурбинным наддувом и высокочастотным мотор-генератором: 1-поршневой ДВС; 2-выпускной коллектор; 3-впускной коллектор; 4-газовая турбина; 5-компрессор; 6-вал; 7-высокочастотный электрический мотор-генератор; 8-аккумулятор; 9-блок управления; 10-орган управления двигателем; 11-датчик частоты вращения коленчатого вала

Другим способом решить поставленные задачи можно, если обеспечить подачу сжатого воздуха через дополнительный клапан (рисунок 2) под большим давлением непосредственно в цилиндр двигателя в период, когда впускной и выпускной клапаны закрыты [4, 5].

Этот способ подразумевает не постоянную подачу сжатого воздуха в цилиндр, а только в случаях резкого ускорения транспортного средства или при возникновении кратковременных пиковых внешних нагрузок.

Для двигателей с непосредственным впрыском топлива установка дополнительного клапана позволяет использовать часть такта сжатия для нагнетания воздуха в аккумулятор, который возможно подзаряжать от внешнего источника сжатым воздухом.

Наличие дополнительного клапана может быть использовано для повышения пусковых качеств двигателя и обеспечения его высоких экономических показателей, за счет изменения степени сжатия в зависимости от начала открытия и закрытия указанного клапана на такте сжатия.

Дальнейшая разработка двигателя с высоким непосредственным наддувом (рис. 3), позволяет не только обеспечить на режиме торможения накопление энергии в виде сжатого воздуха под высоким давлением, но и аккумулирование теплоты отработавших газов с по-

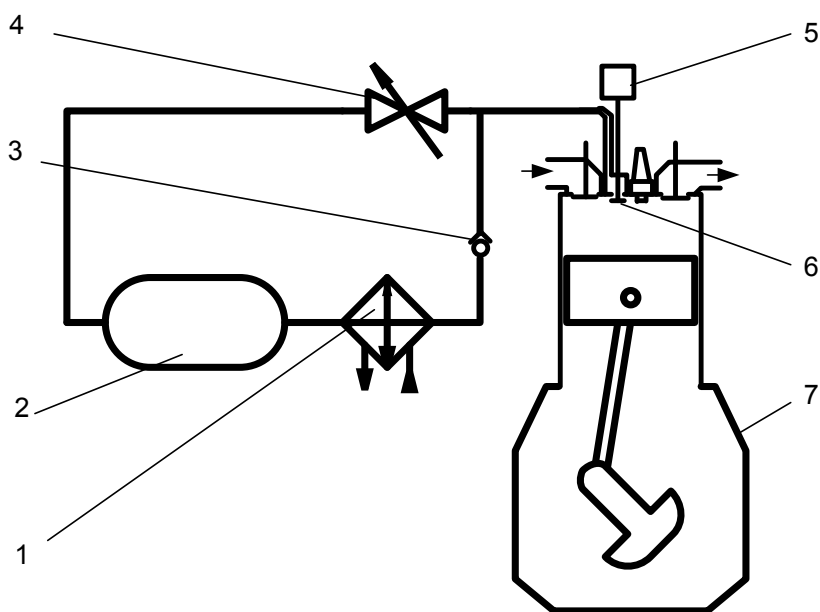


Рисунок 2 – Двигатель с непосредственным наддувом: 1-охладитель; 2-аккумулятор сжатого воздуха (ресивер); 3-золотниковый клапан; 4-клапан управления подачи воздуха; 5-блок электронного управления; 6-нагнетательный клапан; 7-поршневой двигатель внутреннего сгорания

следующее применение этой энергии для форсирования двигателя на пиковых режимах, а также повышения его пусковых качеств, и как следствие, повышения экономических и экологических показателей [6]. При этом не потеряв возможность заряжать баллоны сжатым воздухом от внешнего источника.

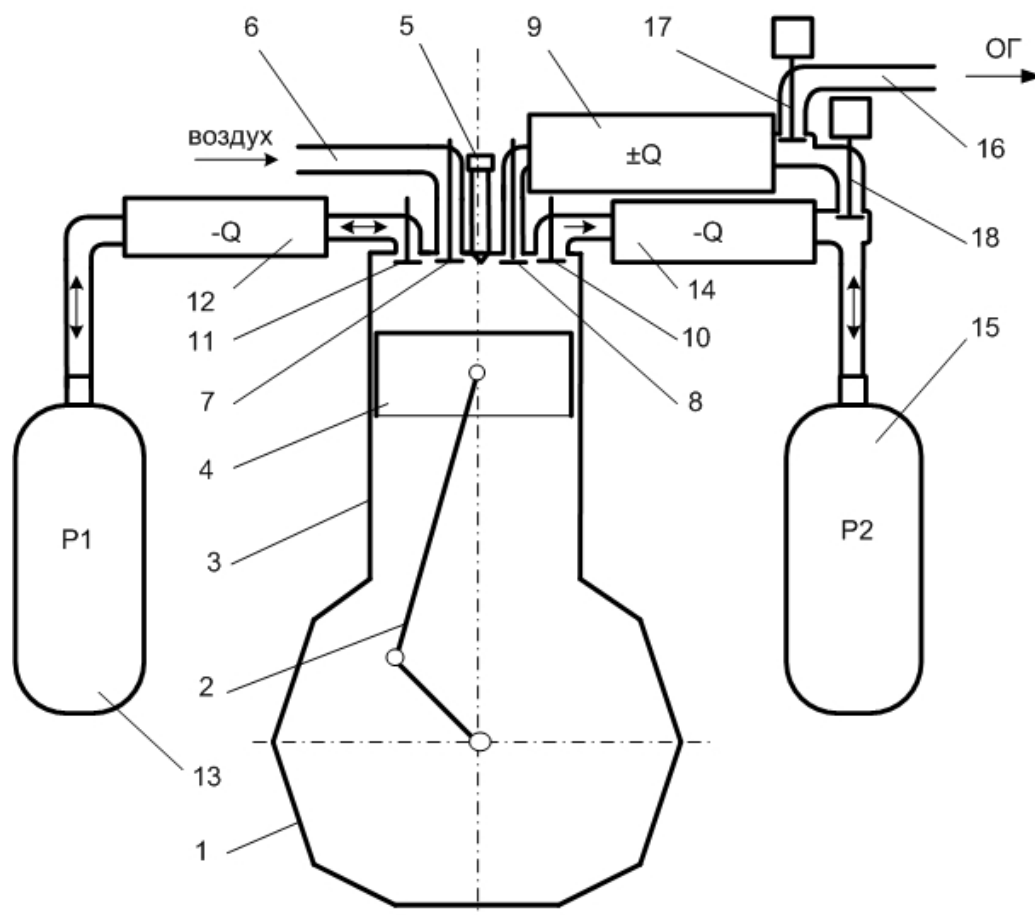


Рисунок 3 – Двигатель с высоким непосредственным наддувом: 1-картер; 2-кривошипно-шатунный механизм; 3-цилиндр; 4-поршень; 5-топливная форсунка; 6-впускной коллектор; 7-впускным клапаном; 8-выпускной клапан; 9-тепловой аккумулятор; 10-нагнетательный клапан; 11-перепускной клапан; 12,14-охладитель воздуха; 13-ресивер низкого давления; 15-ресивер высокого давления; 16-выпускной коллектор; 17-выпускной электромагнитный клапан; 18-нагнетательный электромагнитный клапан

Достигается это тем, что двигатель, изготавливается с высокой геометрической степенью сжатия (от 24 до 28). В головке цилиндра имеются нагнетательный и перепускной клапаны, которые, с одной стороны, позволяют наполнять сжатым воздухом с промежуточным его охлаждением ресивер низкого давления, и на режимах торможения двигателем наполнять воздухом, с промежуточным его охлаждением, ресивер высокого давления, а с другой - обеспечивать переменную фактическую степень сжатия. Сжатый воздух из ресивера высокого давления через специальный клапан, нагреваясь в тепловом аккумуляторе, в котором накапливается теплота отработавших газов, подается во время такта расширения на режиме резкого увеличения мощности.

В дизелях непосредственный наддув [4] позволяет улучшить процессы смесеобразования при организации направленной подачи струи сжатого воздуха в камеру сгорания, снизить тепловую напряженность деталей цилиндропоршневой группы.

Заметим, что предложенные способы повышения литровой мощности применимы как на двигателях без наддува, так и на двигателях, оборудованных любыми системами наддува.

Вывод: Повышение эффективности силовых установок городского транспорта связано с их способностью рекуперировать и накапливать энергию в различного рода аккумуляторах. Радикальным методом решения указанной задачи является реализация принципиальной возможности аккумулирования и утилизации энергии в виде сжатого воздуха в ресиверах и теплоты, содержащейся в отработавших газах, в тепловых аккумуляторах, и последующее

применение этой энергии для форсирования двигателя на пиковых режимах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Арав, Б.Л. Концепция экологически безопасной комбинированной энергетической установки городского автомобиля / Б.Л. Арав, В.В. Руднев // Вестн. Рос. акад. трансп. / Курган. гос. ун-т. -Курган, 2005. -Вып.5. -С. 112-114.

2 Руднев, В.В. Двигатель для утилизации теплоты отработавших газов / В.В. Руднев, В.С. Кукис // Труды международного форума по проблемам науки, техники и образования / Акад. наук о земле. -М.,2000. -Т.1. -С. 56-57.

3 Пат. 62662 Российская Федерация. Комбинированный двигатель / Руднев В.В., Хасанова М.Л., Пупков В.В. -опубл. 27.04.07, Бюл. №12; приоритет 30.10.06.

4 Непосредственный наддув как способ повышения приемистости ДВС / В.В. Руднев, В.С. Кукис, М.Л. Хасанова, О.И. Быстров // Науч. вестн. / ЧВВАКИУ. -Челябинск, 2009. -Вып.20. -С. 122-124.

5 Пат. 85556 Российская Федерация. Двигатель внутреннего сгорания / Руднев В.В., Хасанова М.Л., Кукис В.С. -опубл. 10.08.09, Бюл. №22; приоритет 20.03.09.

6 Пат. 89179 Российская Федерация. Двигатель внутреннего сгорания / Руднев В.В., Хасанова М.Л. -опубл. 27.11.09, Бюл. №33; приоритет 08.05.09.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *двигатель, силовая установка, городской транспорт, наддув, рекуперация, аккумуляция, эффективность, дизель*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Руднев Валерий Валентинович, канд. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *454029, г. Челябинск, пр. Победы, 187, ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»*

РЕКУПЕРАЦИОННЫЙ ВОЗДУШНО-ГИБРИДНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

ГОУ ВПО «Челябинское высшее военное автомобильное командно-инженерное училище»

А.А. Смолин, Е.С. Терещенко

REQUERAZIONY THE AIR-HYBRID ENGINE FOR A MUNICIPAL TRANSPORTATION
«Chelyabinsk higher military automobile command-engineering school»
A.A. Smolin, E.S. Tereshchenko

Article is devoted the description of the device and a work principle recuperation the air-hybrid engine for a municipal transportation, capable to provide accumulation of energy in the form of compressed air under a high pressure, but also application of this energy for engine speeding up on various modes, and as consequence, improvement of economic and ecological indicators of efficiency of power-plants of a municipal transportation.

Keywords: the engine, power-plant, municipal transportation, recuperation, accumulation, efficiency

Статья посвящена описанию устройства и принципа работы рекуперационного воздушно-гибридного двигателя для городского транспорта, способных обеспечить накопление энергии в виде сжатого воздуха под высоким давлением, но и применение этой энергии для форсирования двигателя на различных режимах, и как следствие, улучшение экономических и экологических показателей эффективности силовых установок городского транспорта.

К силовым агрегатам современных транспортных средств (автомобили, тракторы, сельскохозяйственные машины, дорожно-строительная техника) предъявляются разнообразные требования со стороны эксплуатирующих организаций и органов санитарного надзора, в том числе: соответствие тяговой характеристики потребностям машины, высокая топливная экономичность, небольшие затраты на изготовление, техническое обслуживание и ремонт, надежность и безотказность в работе, большой моторесурс до капитального ремонта, быстрота ввода в действие, простота обслуживания и управления. Весьма актуальны и требования к уровню выброса в атмосферу токсичных и загрязняющих веществ.

В зависимости от специфики транспортной установки, ее назначения и условий работы, значимость тех или иных требований изменяется. Так, например, при работе в городских условиях, особенно на объектах с ограниченным пространством (карьеры, туннели, производственные помещения), к силовым агрегатам предъявляются высокие требования в отноше-

нии шумности и выброса загрязняющих атмосферу веществ. Эти требования определяют выбор вида двигателя транспортной установки и преобладают над такими показателями, как топливно-экономические или весогабаритные [1].

Возникает проблема повышения КПД и снижения токсичности отработавших газов силовой установки. Решение данной проблемы заключается в необходимости накопления энергии в аккумуляторе или по другому рекуперировать энергию, с последующим экономичным использованием этой энергии на различных режимах работы.

Рекуперационный воздушно-гибридный двигатель – это относительно простая конструкция силовой установки для автомобиля, позволяющая устранить большинство недостатков «современных» двигателей, и в несколько раз увеличить мощность при тех же размерах двигателя [2].

Последствия этого колоссальные – это экономия топлива и увеличение загрузки транспортных средств, это минимизация силовой установки, позволяющая в тех же габаритах разместить дополнительное оборудование (это важно, например, для специальных и боевых машин), и много других уникальных качеств. Мало того, воздушная рекуперация энергии позволяет очень хорошо экономить на топливе, а это существенный аргумент для выбора покупателем именно этого двигателя, т.к. воздушная рекуперация стоит недорого.

Двигатель, разработанный на кафедре двигателей Челябинского ВВАКИУ (рисунок 1), позволяет не только обеспечить на режиме торможения накопление энергии в виде сжатого воздуха под высоким давлением, но и последующее применение этой энергии для форсирования двигателя на пиковых режимах, а также повышения его пусковых качеств, и как следствие, повышения экономических и экологических показателей [5].

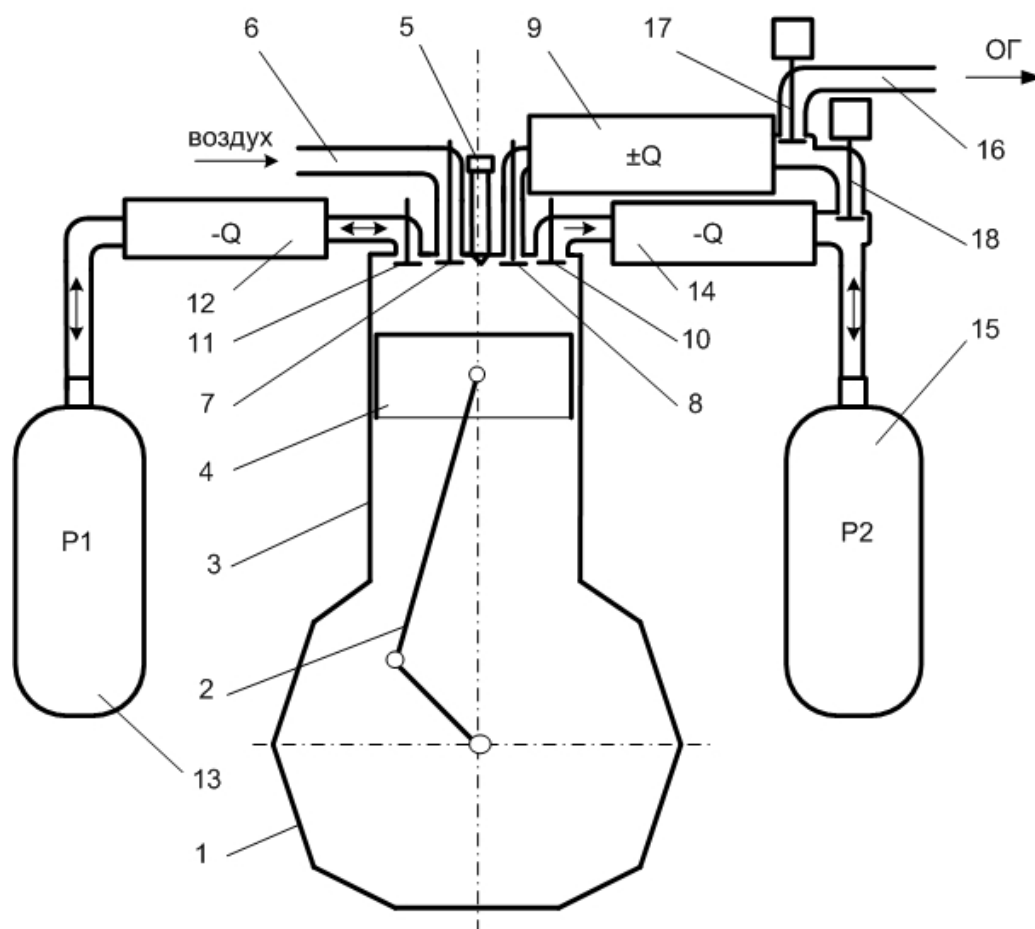


Рисунок 1 – Двигатель с высоким непосредственным наддувом: 1-картер; 2-кривошипно-шатунный механизм; 3-цилиндр; 4-поршень; 5-топливная форсунка; 6-впускной коллектор; 7-впускным клапаном; 8-выпускной клапан; 9-тепловой аккумулятор; 10-нагнетательный клапан; 11-перепускной клапан; 12,14-охлаждитель воздуха; 13-ресивер низкого давления; 15-ресивер высокого давления; 16-выпускной коллектор; 17-выпускной электромагнитный клапан; 18-нагнетательный электромагнитный клапан

На базе предлагаемой разработки можно перекрыть нишу «маленького и слабенького» на «маленького и мощного» автомобиля, удовлетворить многие требования потребителей, сделать автомобиль для мегаполисов с автоматизацией дорожных ситуаций трогания-движения-остановки-парковки и т.д., с нулевым выбросом вредных веществ, с функцией автоматического отключения двигателя при остановке, трогании и движения от воздуха [2].

Энергия, освобождаемая при расширении сжатого воздуха, зависит от характера изменения давления во время расширения и не может однозначно определяться объемом бака $V_{нач}$ и давлением $p_{нач}$. Однако если начальное давление намного больше конечного (например, 2 МПа при конечном давлении в 0,1 МПа) [6], то получаемую энергию упрощенно можно считать равной потенциальной энергии, запасенной в баке, при условии что температура окружающей среды T_0 равна температуре внутри баллона T , и выразить формулой [6]

$$W = \sum_{i=1}^n p_i dV_i,$$

Учитывая, что

$$pV = mR_0T,$$

удельная аккумулирующая способность резервуара сжатого воздуха равна

$$W = mR_0 \int_{V_{нач}}^{V_{кон}} \frac{T}{V} dV = mR_0T \cdot \ln \frac{V_{кон}}{V_{нач}}.$$

При давлении 2 МПа и плотности воздуха 1 кг/м^3 удельная аккумулирующая способность резервуара сжатого воздуха составляет по этому расчету 1 МДж/кг. Удельная аккумулирующая способность пневматического аккумулятора в целом намного меньше, так как масса резервуара в несколько раз больше, чем масса запасенного в нем сжатого воздуха. Приблизительно можно считать, что удельная аккумулирующая способность пневматических аккумуляторов при давлении (0,2-2,0) МПа составляет (0,01-0,20) МДж/кг или (3-60) Вт/кг. КПД аккумулятора составляет приблизительно 50%, а себестоимость аккумулированной энергии – приблизительно 50 €/кВт [6].

Конструкция двигателя такова, что в его кинематику органично вписывается механика системы рекуперации энергии (СРЭ), которая позволит получить на его базе гибридную воздушно-рекуперационную силовую установку, позволяющую накапливать воздух в ресиверах при торможении или при движении, использующей небольшую часть мощности двигателя.

Согласно исследованиям, в ближайшее время самый сильный рост будет наблюдаться в сегменте гибридных силовых установок – ежегодно 21,4%, достигая 11% от ежегодного производства всех видов двигателей до 2015 года (микро – 70%, полноразмерные – 35%, средние – 6%) – это главный растущий сегмент авторынка [4].

Анализ тенденции развития комбинированных энергетических установок (КЭУ), показывает, что тема рекуперации и воздушного привода стала интересна для многих разработчиков двигателей, предложения на эту тему имеются, например, у фирм МДИ, Скудери, фирма Energiner из Южной Кореи разрабатывает автомобиль PHEV (Pneumatic hybrid electric vehicle) с гибридным электропневматическим приводом. Активно в этом направлении работают британцы. Потенциал этой технологии огромен. Ставка транспортного налога в крупнейших странах Европы сейчас зависит не от мощности, а от уровня эмиссии углекислоты. Причем, с каждым годом она будет ужесточаться. Экология становится стратегическим приоритетом Европы [4].

У электромеханических гибридных систем КПД «на круг» – «от колес обратно к колесам» – составляет около 60%. Эта величина обеспечивается при малых мощностях, а при больших аккумулятор работает на больших токах и его КПД ощутимо снижается. Это требует от владельцев гибридных автомобилей размеренного движения в городских условиях – с плавными разгонами и торможениями [5].

Но не всегда дорожная обстановка и темперамент водителя позволяют так двигаться. Напротив, воздушная система энергорекуперации работает тем эффективнее, чем больше ее мощность, как и любая машина объемного расширения, и КПД «от колес обратно к колесам» составит до 75% [5].

Пиковая мощность системы рекуперации, например, у гибридного автомобиля Toyota Prius II составляет около 35 кВт, а у автомобиля с СРЭ она составит 135 кВт [5].

На автомобиле с СРЭ можно будет экономить топливо, не изменяя стиля вождения, что будет очень полезно в мегаполисах с «рваным» ритмом движения, особенно в часы пик [4].

Это означает, что недоступная ранее из-за дороговизны система рекуперации энергии теперь потенциально дешевле и эффективнее, чем ставшие уже привычными бензиново-электрические гибриды.

Двигатель максимально отвечает потребностям рынка – без сильных изменений конструкции, экономичные, экологически чистые, простые в изготовлении, могут использовать в качестве топлива бензин, дизельное топливо, газ. При этом сложных механических операций и сложных технологий при производстве двигателя не требуется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Арав, Б.Л. Концепция экологически безопасной комбинированной энергетической установки городского автомобиля / Б.Л. Арав, В.В. Руднев // Вестн. Рос. акад. трансп. / Курган. гос. ун-т. -Курган, 2005. -Вып.5. -С. 112-114.

2 Умняшкин, В.А. Разработка методики расчета мощностных и конструктивных параметров энергосиловой установки электромобиля гибридного типа на примере легкового автомобиля / В.А. Умняшкин, Н.М. Филькин // Вестн. Рос. акад. трансп. / Курган. гос. ун-т. -Курган, 1999. -Вып.2. -С. 49-53.

3 Электромобиль: техника и экономика / под ред. В.А. Щетины. -Л.: Машиностроение, 1987. -253 с.

4 Яковлев, А.И. Взгляд на перспективы развития энергетических установок автомобилей / А.И. Яковлев, А.А. Эйдинов // Автостроение за рубежом. -1998. -№10. -С. 14-19.

5 Пат. 89179 Российская Федерация. Двигатель внутреннего сгорания / Руднев В.В., Хасанова М.Л. -опубл. 27.11.09, Бюл. №33. -приоритет 08.05.09.

6 Костин, К.И. Основы теории тепловых процессов и машин: учеб. пособие / К.И. Костин, А.И. Сакович. -Омск: Ом. танковый инженер. ин-т, 2000. -190 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *двигатель, силовая установка, городской транспорт, рекуперация, аккумулирование, эффективность*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Смолин Андрей Александрович, преподаватель ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»
Терещенко Евгений Сергеевич, адъюнкт ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *454029, г. Челябинск, пр. Победы, 187, ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»*

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Ю.В. Борисенко

PERSPECTIVE ALTERNATIVE FUELS FOR DIESEL ENGINES
«Novosibirsk state academy of water transport»
Ju. V. Borisenko

Necessity of research and usage of alternative fuel is caused by deterioration of ecological conditions, a rise in price of oil and a future exhaustion of the supply of nowadays existing deposits.

Keywords: alternative fuel, natural gas, spirit fuels, vegetable oils

Необходимость исследования и применения альтернативного топлива вызвана ухудшением экологической обстановки, подорожанием нефти и грядущим истощением запасов ныне существующих месторождений.

По оценке специалистов мировых запасов нефти хватит ориентировочно на 50-60 лет, при этом прогнозы по полной выработке российской нефти по разным оценкам колеблются в пределах 25-35 лет. Таким образом, уже к середине XXI века перед обществом встанет серьезная проблема по замене бензина и дизельного топлива на альтернативные виды топлива.

Важной особенностью перевода дизелей на альтернативные топлива является возможность достижения требуемых эксплуатационно-технических показателей без изменения конструкции двигателя или при ее незначительных изменениях.

Альтернативные топлива, применяемые в дизельных двигателях, условно разделяют на

три группы [2]. К первой группе относят смесевые топлива, содержащие нефтяные топлива с добавками не нефтяного происхождения (спиртами, эфирами и т.д.). Вторая группа включает синтетические жидкие топлива, которые получают при переработке твердых, жидких или газообразных полезных ископаемых (природного газа, газовых конденсатов и др.). К третьей группе относят не нефтяные топлива (спирты, эфиры, растительные масла и др.).

Рассмотрим наиболее предпочтительные виды альтернативных топлив.

Природный газ. Природный газ рассматривается в настоящее время как наиболее вероятное сырье для производства моторных топлив. Из природного газа получают синтетические жидкие топлива (СЖТ), близкие по своим свойствам к традиционным дизельным топливам. В работе [1] приведены экспериментальные данные, подтверждающие улучшение показателей токсичности ОГ при использовании синтетических топлив из природного газа. Это относится к выбросам продуктов неполного сгорания топлива - углеводородов и сажи (твердых частиц). Меньшему выбросу сажи и других продуктов неполного сгорания способствует высокая реакционная способность парафиновых углеводородов, из которых почти полностью состоят синтетические топлива.

Хорошая воспламеняемость СЖТ из природного газа (высокое ЦЧ) обеспечивает эффективную работу дизеля на этих топливах даже при пониженных значениях степени сжатия. Это позволяет уменьшить температуру конца сжатия, максимальную температуру цикла, снизить выбросы оксидов азота, уменьшить тепловую напряженность деталей камеры сгорания (КС) и повысить ресурс работы двигателя без заметного ухудшения топливной экономичности.

Недостатком синтетических топлив является вязкостно-температурные характеристики и высокие температуры застывания и помутнения, что также связано с большим содержанием в них парафиновых углеводородов. Себестоимость СЖТ в несколько раз выше себестоимости топлива, получаемого из нефти. Транспортировка природного газа требует больших капитальных затрат и расхода энергии.

Спиртовые топлива. Наиболее перспективными из альтернативных топлив для дизелей являются спирты и их производные - эфиры, получаемые при воздействии неорганических кислот на соответствующие спирты. Наиболее исследованными для применения в дизелях являются - метиловый спирт (метанол) и этиловый спирт (этанол). Этиловый спирт является хорошим растворителем смол, жиров и других органических веществ. Это позволяет получать на его основе различные смесевые топлива, приближающиеся по своим свойствам к стандартным дизельным топливам.

Основным недостатком спиртов является плохая воспламеняемость в цилиндрах дизелей, что требует использования различных мероприятий для их принудительного воспламенения. Этот недостаток усугубляется высокой испаряемостью спиртов и, как следствие, переохлаждением спиртовоздушной смеси. В частности, теплота испарения метанола в 4,4 раза больше теплоты испарения дизельного топлива (соответственно 1115 и 250 кДж/кг) при низкой температуре кипения, что обуславливает чрезмерное охлаждение воздушного заряда при испарении спирта и при низких ЦЧ и высоких температурах самовоспламенения спиртов приводит к их плохому воспламенению в КС дизеля. Меньшие значения низшей теплоты сгорания по сравнению с дизельным топливом (соответственно 19670 и 42500 кДж/кг) приводят к необходимости корректирования цикловой подачи топлива для сохранения мощностных показателей дизеля [1].

Таким образом, применение спиртов в дизелях в чистом виде требует конструктивных изменений двигателя. С целью улучшения воспламенения спиртов используются двухтопливные системы питания, которые наряду с подачей спирта обеспечивают подачу запальной дозы дизельного топлива. Подача смесей спирта с дизельным топливом с помощью традиционной аппаратуры затруднена из-за плохой смешиваемости этих видов топлива. Следует отметить, что этанол смешивается с дизельным топливом ограниченно, то есть не образует стабильных смесей, а метанол вообще их не образует. Получение таких смесей возможно лишь при добавлении различных стабилизаторов.

Растительные масла. Растительные масла являются жирами семян или плодов различных растений, получаемых прессованием или извлечением с использованием растворителей. Жирные кислоты, являющиеся основным компонентом растительных масел, представляют собой высокомолекулярные кислородосодержащие соединения с углеродным основанием. Поэтому все масла являются горючими и могут применяться в качестве моторных топлив.

Особенностью растительных масел является наличие в их составе большого количества кислорода (8-12%). Присутствие кислорода снижает температуру сгорания растительных масел в дизельных двигателях и значительно улучшает экологические свойства этих топлив. В проводимых исследованиях дизелей, работающих на растительных маслах, отмечается снижение дымности ОГ и содержания в них продуктов неполного сгорания топлива [5].

Одной из проблем использования растительного масла в чистом виде является повышенное нагарообразование – отложение кокса на распылителях форсунок. Для снижения коксуемости необходимо очищать растительные масла от смолистых веществ и проводить мероприятия, снижающие коксообразование в КС дизеля (периодическая работа на высокофорсированных режимах, периодическая подача водотопливных эмульсий через распыливающие отверстия и др.).

Топлива из растительных масел отличаются высокой биоразлагаемостью. Попадая в почву и природные водные бассейны, они практически полностью разлагаются в течение нескольких недель. Растительные масла отличаются хорошими экологическими качествами из-за малого содержания в них серы и полициклических углеводородов [4, 5].

Биотопливо на основе растительных масел можно производить более чем из 50 масличных культур (подсолнечное, рапсовое, соевое, льняное, пальмовое, арахисовое, хлопковое, касторовое и др.) [1, 2]. Для использования в качестве топлива для дизелей наиболее перспективным является рапсовое масло.

Рапсовое масло представляет собой смесь моно-, ди- и триацилглицеринов. Большое разнообразие в строении молекул ацилглицеринов существенно влияет на физико-химические свойства рапсового масла (таблица) [4].

Отличия физических свойств рапсового масла от свойств стандартных дизельных топлив оказывает влияние на процессы топливоподачи и смесеобразования. Низкая теплопроводная способность этого масла являются причиной увеличения цикловой подачи масла и его часового расхода по сравнению с дизельными топливами по ГОСТ 305-82. Повышенное поверхностное натяжение рапсового масла повышает неоднородность его распыливания. Из-за повышенной плотности и вязкости увеличивается максимальное давление впрыскивания. Действительный момент начала впрыскивания топлива смещается при этом в сторону увеличения угла опережения впрыскивания топлива [1]. Необходимо корректировать процесс топливоподачи при работе дизельного двигателя на рапсовом масле.

Рапсовое масло перерабатывают в метиловый или этиловый эфир рапсового масла. Физико-химические свойства метилового эфира рапсового масла (МЭРМ) очень близки к свойствам стандартного дизельного топлива (таблица). МЭРМ может подаваться в цилиндры дизеля штатной топливоподающей аппаратурой, а процесс сгорания этого эфира близок к процессу сгорания дизельного топлива [2].

Таблица – Физико-химические свойства дизельного (Д) топлива, рапсового масла (РМ) и их смеси

Наименование показателя	Д	РМ	Д+РМ (80+20)% (по объему)	Д+РМ (60+40)% (по объему)	Метиловый эфир РМ
Плотность при 20 °С, кг/м ³	830	916	848	865	877
Вязкость кинематическая при 20 °С, мм ² /с	3,8	75	9	19	8
Коэффициент поверхностного натяжения при 20 °С, мН/м	27,1	33,2	*	*	30,7
Теплота сгорания низшая, кДж/кг	42500	37300	41500	40400	37800
Цетановое число	45	36	*	*	48
Температура самовоспламенения, °С	250	318	*	*	230
Температура помутнения, °С	-25	-9	*	*	-13
Температура застывания, °С	-35	-20	*	*	-21
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	14,3	12,6	13,9	13,5	12,5
Массовое содержание, %:			*	*	
– углерода	87,0	78,0			77,5
– водорода	12,6	10,0			12,0
– кислорода	0,4	12,0			10,5
Общее массовое содержание серы, %	0,20	0,002	*	*	0,002
Коксуемость 10%-го остатка, масс. %	0,2	0,4	*	*	0,3

*-свойства не определялись

К сожалению, МЭРМ является химически активной жидкостью, поэтому при его использовании в качестве самостоятельного топлива или как добавки к дизельному топливу топливные баки, топливопроводы и другие элементы конструкции, контактирующие с эфиром, должны иметь защитное покрытие. Кроме того, производство этого эфира отличается выработкой побочных веществ, утилизация которых является отдельной экологической проблемой.

Рапсовое масло хорошо смешивается с дизельным топливом. Эти смеси имеют свойства, позволяющие сжигать их в дизеле без внесения изменений в его конструкцию.

Смесевое топливо по сравнению с метиловым эфиром рапсового масла имеет следующие преимущества: несложная технология получения; высокая стабильность в хранении и растворении на молекулярном уровне.

В Финляндии в качестве топлива используют смесь рапсового масла и дизельного топлива, обозначенную как R-33 и состоящую из 1/3 рапсового масла и 2/3 дизельного топлива. Во Франции дизельное топливо разбавляют МЭРМ до 5%-ной концентрации, в Чехии это соотношение доводят до 30%. Вместо рапса используют и другие культуры. В Австралии в качестве добавок к дизельному топливу используют арахисовое и кокосовое масла. В Бразилии фирма «Caterpillar» рекомендует смесь растительных масел (из соевых бобов, подсолнечника или земляных орехов) с дизельным топливом в отношении 1:9 [3].

Высокие экологические свойства топлив из растительных масел, возобновляемость сырьевых ресурсов для производства этих топлив делают их наиболее перспективными из альтернативных топлив. Поэтому проводятся многочисленные исследования по адаптации дизелей к работе на растительных маслах и смеси биотопливе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гайворонский, А.И. Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях / А.И. Гайворонский [и др.] -М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. -480 с.

2 Девянин, С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н. Девянин [и др.] -М.: Издательский центр ФГОУ ВПО МГАУ, 2007. -320 с.

3 Использование биологических добавок в дизельное топливо. -М.: ФГНУ «Росинформмагротех», 2007. -56 с.

4 Результаты испытаний и перспективы эксплуатации дизелей на биотопливе. -М.: ФГНУ «Росинформмагротех», 2008. -136 с.

5 Шкаликова, В.Н. Применение нетрадиционных топлив в дизелях / В.Н. Шкаликова, Н.Н. Патрахальцев. -М.: Изд-во РУДН, 1993. -64 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: альтернативное топливо, природный газ, спиртовые топлива, растительные масла

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Борисенко Юлия Владимировна, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

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

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ СЕТОК ДЛЯ ОЧИСТКИ ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СУДАХ

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского»

Г.П. Кича, А.В. Надежкин, Г.Г. Галстян

THE OPTIMISATION OF CHANNEL STRUCTURES OF FILTERING GRIDS FOR CLEARING OF COMBUSTIVE-LUBRICATING MATERIALS ON SHIPS

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoiy»

G.P. Kicha, A.V. Nadezkin, G.G. Galstyan

Are resulted criteria of perfection channels structures woven filtering materials. Their integrated indicators are proved, it is good equaling with functional properties of woven filtering grids of a linen interlacing. The optimisation technique channels filtering structures is stated and the analysis of influence of their geometry on offered criteria and efficiency of self-recycled filters is presented.

Keywords: cloth filtering material, filtering grid, cleaning of the fuels and oils, the channel structure of materials, the optimization of channels structure, self-regenerating filter

Приведены критерии совершенства поровых структур тканых фильтровальных материалов. Обоснованы их интегральные показатели, хорошо согласующиеся с функциональными свойствами

тканых фильтровальных сеток полотняного переплетения. Изложена методика оптимизации поровых фильтровальных структур и представлен анализ влияния их геометрии на предлагаемые критерии и эффективность саморегенерирующихся фильтров.

В последние годы тканые фильтровальные материалы (ТФМ) полотняного и саржевого переплетения получили широкое распространение в саморегенерирующихся очистителях (фильтрах) топливных и смазочных систем судовых дизелей [1, 2]. Их гидравлические и фильтровальные характеристики должны хорошо восстанавливаться свои промывкой обратным потоком очищаемой жидкости. Высокая эффективность регенерации фильтрующих элементов (ФЭ) при использовании ТФМ возможна при скоростях промывного потока, превышающих фильтровальный в несколько раз, что выдвигает довольно «жесткие» требования к прочностным характеристикам фильтровального материала (ФМ).

Целью проведенных исследований была оптимизация поровой структуры тканых фильтровальных сеток (ТФС) полотняного переплетения, чтобы наиболее рационально сбалансировать их пропускную и задерживающую способности с грязеемкостью и регенерируемостью.

Выбор параметров геометрии переплетения нитей ТФМ предусматривал получения требуемой тонкости и полноты отсева загрязнений при максимально возможных их пропускной способности и регенерируемости. Оптимизация поровой структуры ТФС осуществлялась для достижения высокой эффективности очистки горюче-смазочных материалов (ГСМ) от нерастворимых примесей и хорошей регенерируемости ФЭ саморегенерирующихся фильтров (СРФ) с длительным периодом их работы без обслуживания.

В качестве объекта исследования взяты ТФС прямого (обратного) полотняного переплетения [1], обеспечивающих расположением проволок утка вплотную и регулированием параметров геометрии сеток (шага основы T_o , диаметров основной d_o и уточной d_y проволок) высокие функциональные характеристики сеток.

Пористость m и гидравлический радиус l_c сеток могут быть определены через показатели их геометрии:

$$m = 1 - \frac{\pi d_o^2 + \pi d_y [T_o \cos \beta + \beta (d_o + d_y)]}{4 \left[2\beta \left(\frac{d_o}{2} + d_y \right)^2 + \frac{1}{2} (d_o + 3d_y) T_o \cos \beta \right]}; \quad (1)$$

$$l_c = \frac{\left[2\beta \left(\frac{d_o}{2} + d_y \right)^2 + \frac{1}{2} (d_o + 3d_y) T_o \cos \beta \right] m}{\pi [(1 + \beta) d_o + \beta d_y + T_o \cos \beta]}, \quad (2)$$

где β – половинный угол перекрестки уточных нитей (проволок) [1].

Через параметры m и l_c рассчитывается показатель гидравлических свойств ФМ – коэффициент проницаемости. Для сеток с регулярной поровой структурой он равен:

$$K_n = \frac{l_c^2 m^3}{5(1 - m)^2}. \quad (3)$$

Другие важнейшие показатели ТФС, такие как площадь внутренней поры S_e в самом узком ее сечении, прочность сетки на растяжение P_σ , число наружных пор N_n на квадратный сантиметр поверхности могут быть найдены по формулам:

$$S_e = \frac{d_o^2 \operatorname{ctg} \alpha}{4 \sin^2 \gamma} - \frac{d_o^2}{4 \cos \gamma} \left(\frac{\pi}{2} - \beta - \sin \beta \cos \beta \right) - \frac{d_y}{10} \sqrt{2d_o^2 - T_o^2 \cos^2 \beta}; \quad (4)$$

$$P_\sigma = \frac{\pi d_o^2 \sigma_p}{4 \cdot 10^3 T_o}; \quad (5)$$

$$N_n = \frac{10^8}{d_y T_o}, \quad (6)$$

где α, γ – угловые параметры внутренних треугольных пор ТФС [1, 2];

σ_p – допустимое напряжение материала проволоки основы на растяжение.

По выражению (5) определяется прочность на разрыв полоски сетки шириной 1 мм.

Вследствие особенностей структуры ТФС полотняного и саржевого переплетений число внутренних пор у них в два раза больше, чем наружных.

С учетом (4) коэффициент просветности внутренних и наружных пор ТФС соответственно равен:

$$f_s = \frac{2S_s}{d_y T_o}; \quad (7)$$

$$f_n = \beta \frac{d_o + d_y}{2T_o} + \frac{\cos \beta}{2} - \frac{\pi d_y}{8T_o \sin 2\beta}. \quad (8)$$

Большой интерес вызывает коэффициент формы поры ε_Δ в самом узком внутреннем ее сечении, так как он значительно влияет на гидравлику и регенерируемость ФМ. Численно этот коэффициент равен отношению площади S_s к площади вписанного круга

$$\varepsilon_\Delta = \frac{4S_s}{\pi \Delta^2}, \quad (9)$$

где Δ — толщина отсева внутреннего поры.

В большой мере на забиваемость ФМ отложениями и его гидравлические свойства влияют число пор на единицу поверхности материала и их форма. Внутренние поры ТФС правильной формы, то есть с наименьшим ε_Δ обладают наилучшей регенерируемостью при противоточной промывке. Если S_s и соответственно ε_Δ минимальны, то число пор на единице поверхности ФМ максимально. При фильтровании суспензии таким материалом из-за более редкой блокировки пор крупными частицами наблюдается менее интенсивный рост перепада давления.

Наряду с K_n и N_n на регенерируемость, гидравлические свойства и особенно грязеемкость ТФС большое влияние оказывает пористость материала в связи с тем, что при промежуточном законе фильтрования часть загрязнений накапливается в поровом пространстве материала. Следовательно, при высоком m у ФМ больше «внутренняя» грязеемкость.

Обобщенно эффективность ТФС полотняного и саржевого переплетения характеризуется критерием

$$K_\phi = \frac{10^3 K_n m}{d_y T_o \varepsilon_\Delta}, \quad (10)$$

который удовлетворительно коррелирует с удельной пропускной способностью ν_ϕ , регенерируемостью φ_p и грязеемкостью g_ϕ материала (рисунок 1). От значения K_ϕ зависят такие показатели сеток, как энергозатраты на фильтрование и регенерацию, ресурс необслуживаемой работы фильтра и его надежность. Интегральная эффективность $\mathcal{E}_{\phi c}$ сеток рассчитывается по перечисленным трем показателям при условии равенства коэффициентов весомости каждого из них.

Показатель ν_ϕ (скорость фильтрации) определяли прокачкой через сетку загрязненного моторного масла вязкостью 0,032 Па·с при перепаде давления 10 кПа. Под регенерируемостью φ_p понимается способность ТФС к восстановлению ее гидравлической характеристики. Это отношение перепада давлений на сетке в начале цикла фильтрования к перепаду давлений после воздействия стандартизованного промывного потока. Грязеемкость g_ϕ оценивали по количеству накопленных фильтрующей перегородкой загрязнений при достижении перепада давления 0,1 МПа.

Анализ большого числа данных, полученных при моделировании эффективности различных поровых структур, позволил сформировать критерий их совершенства. Критерий совершенства структуры тканого материала K_c определяется соотношением параметров его геометрии

$$K_c = \frac{10 d_y \Delta}{T_o d_o \varepsilon_\Delta}. \quad (11)$$

Системный подход к решению задачи глобальной оптимизации многоуровневых объектов, к числу которых относится СРФ, требует применения декомпозиционных методов, позволяющих решать многомерную задачу оптимизации путем деления ее на несколько подзадач меньшей размерности. Многоуровневое приближение предполагает декомпозицию

всей системы на ряд подсистем, которые оптимизируются независимо одна от другой по локальному критерию.

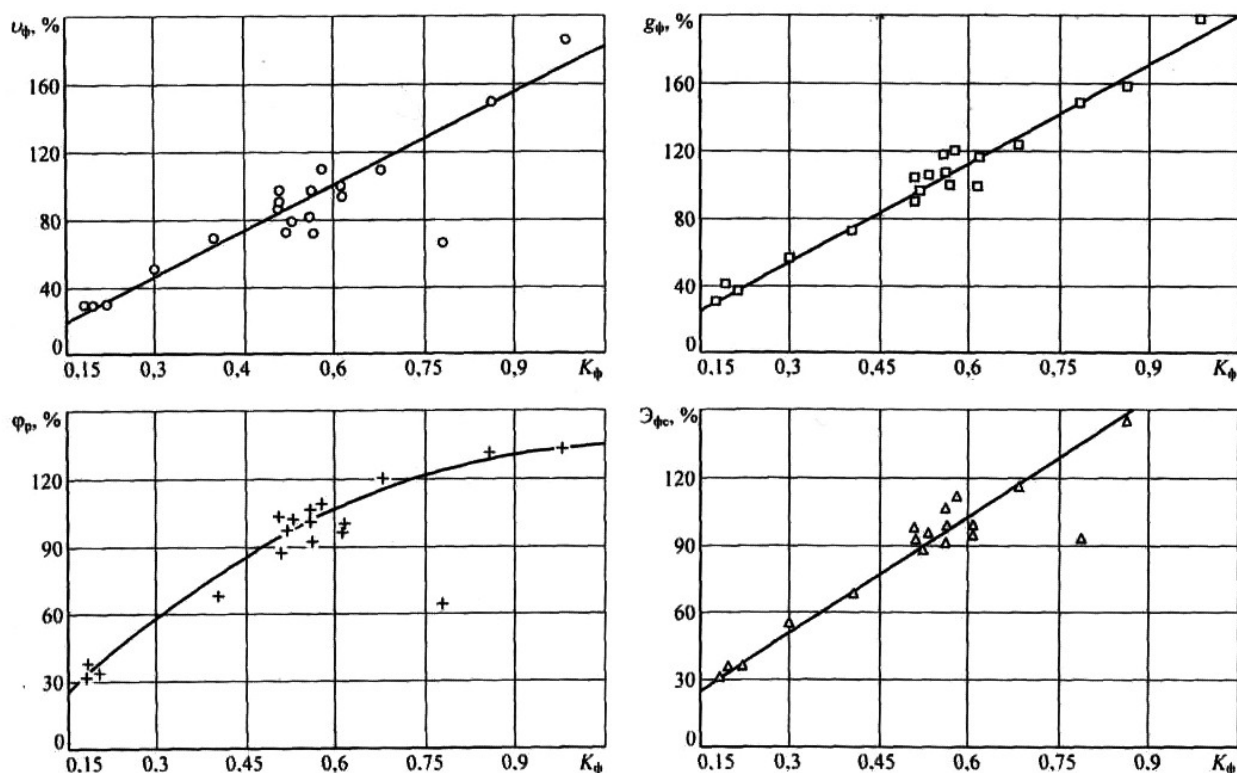


Рисунок 1 – Зависимость функциональных характеристик ТФС от критерия K_ϕ (показатели v_ϕ , ϕ_p , g_ϕ и $\varepsilon_{\phi c}$ приведены в % относительно эффективности базового варианта, который наиболее характерен при использовании тканых ФМ в СРФ)

Применительно к тканым ФМ с регулярной поровой структурой локальными критериями оптимизации могут быть Δ , K_n , P_σ , N_n , K_c и K_ϕ . В отличие от материалов с хаотическим расположением волокон поровая структура тканых сеток управляема. Оптимизирующим фактором выступают параметры геометрии ТФС: диаметр уточной и основной проволок, шаг основы.

Расчеты показывают, что наиболее рациональным способом увеличения полноты отсева загрязнителей с высокой долей тонкодисперсных фракций является не уменьшение ε_Δ , а двухступенчатое фильтрование поровыми структурами с приближением тонкости отсева наружного задерживающего участка [2] Δ_n к Δ вплоть до их равенства.

В СРФ необходимо обеспечить наравне с высокой пропускной способностью качественную регенерацию ФЭ. При низкой регенерируемости ФМ сделать это трудно. Таким образом, при оптимизации процесса очистки показатели первой группы для большинства ТФС могут быть ограничивающими параметрами. Причем для ТФС важно обеспечить стабильное значение Δ , так как пропуск в систему смазки абразивных частиц сверх допустимого размера может вызвать задиры деталей пар трения и аварию двигателя.

При оптимизации структуры ТФС по прочностным качествам целевой функцией является показатель P_σ (вторая группа параметров оптимизации). Оптимизация по P_σ приводит к значительному ухудшению гидравлики и таких показателей сеток, как регенерируемость, грязеемкость. Функция отклика по P_σ не имеет явного максимума.

Локальными показателями оптимизации структуры ТФС были выбраны критерии K_c и K_ϕ . Показатели Δ и P_σ приняты ограничивающими параметрами. Действие локальных критериев оптимизации на глобальный показатель эффективности систем очистки ГСМ скажется не только увеличением интенсивности фильтрования, но и уменьшением трудоемкости обслуживания и затрат энергии на функционирование СРФ, повышением их надежности работы при неограниченно высоком ресурсе необслуживаемой работы. Кроме того, высокие значения K_c и K_ϕ облегчают работу регенерирующего устройства СРФ с ТФС данного типа

и сокращают затраты энергии на регенерирование его ФЭ.

С учетом выше изложенного материала задача оптимизации структуры ТФС может быть представлена в виде:

$$K_{\phi}(m, l_c, N_n) = K_{\phi}(d_y, d_o, T_o) = \max K_{\phi}; \quad (12)$$

$$K_c(d_y, d_o, T_o) = \max K_c, \quad (13)$$

при ограничениях по требуемой тонкости отсева

$$\Delta = \Delta_{\partial},$$

и прочности сетки

$$P_{\sigma} = P_{\sigma\partial},$$

где $\Delta_{\partial}, P_{\sigma\partial}$ – заданные тонкость отсева и прочность на разрыв ТФС.

Из уравнений (1)-(10) следует, что тонкость отсева, проницаемость, гидравлический радиус, число пор на единицу поверхности, пористость и критерии эффективности ТФС являются нелинейными функциями параметров геометрии сеток d_y, d_o и T_o . Кроме того, на величину оптимизируемых факторов из условий прочности и заданной тонкости отсева накладывается ряд ограничений, задающих область их допустимых значений

$$d'_y < d_y < d''_y, \quad d'_o \leq d_o, \quad T'_o < T_o < T''_o.$$

Вследствие этого задача (1)-(13) классифицируется как задача нелинейного программирования, которая решается методом штрафных функций [3, 4]. Метод позволяет преобразовать исходную задачу с ограничениями в задачу безусловной минимизации путем построения функции цели вида [2]:

$$F = -K_{\phi} + \mu_{\kappa} \left\{ (\Delta - \Delta_{\partial})^2 + [\max(0, d_o - d'_o)]^2 + [\max(0, d_y - d'_y, d''_y - d_y)]^2 + [\max(0, T_o - T'_o, T''_o - T_o)]^2 \right\}, \quad (14)$$

где μ_{κ} – весовой коэффициент функции штрафа.

Оптимум полученной функции цели F находили методом последовательной безусловной оптимизации [4] с использованием библиотеки стандартных процедур ЭВМ.

Противоречивость в реализации требований высоких пропускной способности и прочности ТФС путем управления их структурой видна из рисунка 2. С увеличением диаметра проволоки основы прочностные показатели сетки растут, гидравлические ухудшаются. Регенерируемость ФМ, особенно при отфильтровании крупнозернистого загрязнителя, также связана с геометрией пор и, как правило, имеет наибольшее значение при $N_{n \max}$ и $\varepsilon_{\Delta \max}$, что отмечено при минимальном шаге основы и максимальном коэффициенте просветности f_{ε} внутренней поровой структуры.

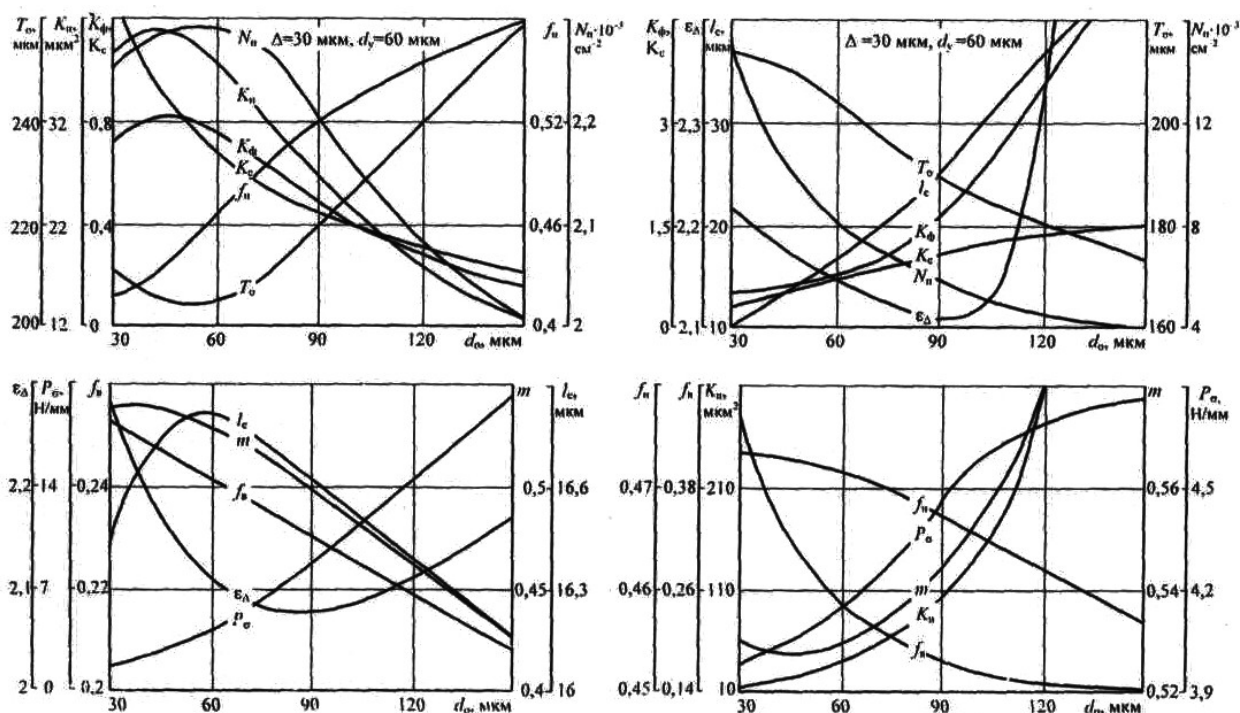


Рисунок 2 – Влияние параметров геометрии на основные показатели ТФС

Согласно приведенным характеристикам (см. рисунок 2), экстремум наблюдается только для функции $N_n, \varepsilon_\Delta, K_n, I_\Delta(d_o)$, обусловленной тем, что для сохранения Δ при росте d_o на начальном этапе необходимо T_o уменьшать, после достижения $T_{o\min}$ – увеличивать. Высокая грязеемкость ТФС обусловлена в большей мере величиной K_n и m , для которых повышение d_o неблагоприятно. Критерии совершенства структуры K_c и эффективности ТФС K_ϕ , достигнув максимума при малых значениях d_o , при дальнейшем увеличении этого параметра падают. Особенно интенсивно они понижаются со значения d_o , при котором T_o минимально.

Увеличение d_y способствует улучшению показателей K_n, m, I_c (см. рисунок 2), но уменьшает N_n, f_n и f_g . В целом критерии K_ϕ и K_c с увеличением диаметра уточной проволоки растут из-за преобладающего влияния K_n, m и f_g по сравнению с N_n . Зависимость $N_n(d)$ также имеет экстремум. Положительное влияние d_y оказывает и на критерий K_c совершенства структурой ФМ.

Оптимизация поровой структуры ТФС по показателям K_n и N_n подтвердила противоположное влияние на них параметров геометрии сеток d_o и d_y при ограничении $\Delta = \text{Const}$. Коэффициент проницаемости при увеличении d_y и уменьшении d_o возрастает и достигает максимума на границе области допустимых значений. Дальнейшее повышение d_y приводит к нарушению постоянства тонкости отсева, а уменьшению d_o препятствует налагаемое ограничение.

Уменьшение числа пор на единице поверхности ТФС по мере роста d_y особенно значительно при большом диаметре проволоки основы. Падение N_n при увеличении d_y затормаживается, если сопровождается уменьшением T_o , что наблюдается при малых значениях d_o .

При исследовании влияния геометрии сеток на другие критерии выявлено наличие экстремума. Максимум функции $K_\phi(d_o)$ вызван противоположным воздействием K_n, m и N_n, ε_Δ на критерий эффективности ТФС. Такой же вид имеет зависимость K_c от d_o при $d_y = \text{Const}$ (см. рисунок 2). Максимальные значения K_ϕ и K_c наблюдаются при низких d_o и высоких d_y .

Влияние параметров геометрии d_o, d_y ТФС на максимальное значение критериев K_ϕ и K_c подтверждает значительную роль оптимизации структуры сеток в повышении эффективности тканых ФМ. Значение критериев совершенства структуры K_c и эффективности K_ϕ у оптимизированных ТФС в 2-6 раз выше, чем у обычных сеток.

Оптимизированная структура тканых ФМ обеспечивает существенное понижение гидравлического сопротивления и значительное увеличение грязеемкости и регенерируемости ТФС при сохранении их задерживающей способности. Приведенные характеристики – это перспектива развития ТФС. Технологические ограничения не позволяют сегодня реализовать их полностью. Производственные возможности и условия эксплуатации тканых ФМ могут быть учтены при оптимизации структур сеток путем выбора значений $d'_o, d''_o, d'_y, d''_y, T'_o$ и T''_o .

Результаты оптимизации ТФС с тонкостью отсева 20-50 мкм реализованы в поровых структурах сеток типа ОПВ и ПН. Они приведены в [1]. В ней осуществлено сравнение оптимизированных ТФС с сетками полотняного переплетения отечественного и зарубежного производства. Показано, что у новых тканых материалов оптимизированной структуры большие возможности. По показателям K_ϕ и K_c они превосходят сетки, выпускаемые по ГОСТ 3187-76, и лучшие зарубежные [5], широко рекламированные как сетки последнего поколения, в несколько раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кича, Г.П. Новые тканые материалы для саморегенерирующихся фильтров систем топливо- и маслоочистки судовых энергетических установок / Г.П. Кича, Г.Г. Галстян, В.В. Та-

расов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№2. -С. 209-213.

2 Кича, Г.П. Оптимизация и выбор параметров тканых сеток топливных и масляных самоочищающихся фильтров / Г.П. Кича, А.К. Артемьев, А.В. Надежкин // Двигателестроение. - 1984. -№11. -С. 28-31.

3 Понтрягин, Л.С. Математическая теория оптимальных процессов / Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтянский, Е.Ф. Мищенко. -М.: Наука, 1976. -392 с.

4 Химмельблау, Д. Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау. -М.: Мир, 1975. -532 с.

5 Friedrichs, D. Neuartige Filtertressen / D. Friedrichs // Aufbereitungs Technik. -1975. -Bd. 16, H.15. -S. 530-537.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *тканый фильтровальный материал, фильтровальная сетка, очистка топлив и масел, поровая структура фильтроматериала, оптимизация поровых структур, саморегенерирующий фильтр*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Кича Геннадий Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

Надежкин Андрей Вениаминович, канд. тех. наук, начальник лаборатории ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

Галстян Гарик Гагикович, курсант ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

ВЛИЯНИЕ УГАРА МОТОРНОГО МАСЛА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ЕГО СТАРЕНИЯ В СУДОВОМ ДИЗЕЛЕ

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского»

Г.А. Гаук

INFLUENCE OF BURNING LUBRICATING OIL ON INTENSITY OF ITS AGEING IN ENGINE

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoiy»

G.A. Gauk

Results of motor tests of a diesel engine 6ЧСПН18/22 with different burning oil are resulted. Influence of burning lubricating oil M10Д₂ЦЛ on intensity of its ageing and a limiting condition on various is considered on-boards. It is shown as burning oil and load diesel engine intensifies gumming and oxidation degree lubricating material, accelerates operation of additives and its pollution that causes decrease in service life of oil. At this burning lubricating oil 1,5-2,5 g/(kW·h), circulating oil and a diesel engine function in most of good conditions.

Keywords: *burning lubricating oil, ageing oil, intensity pollution, operation of additives*

Приведены результаты моторных испытаний дизеля 6ЧСПН18/22 с разным угаром масла. Рассмотрено влияние уга­ра масла М10Д₂ЦЛ на интенсивность его старения по различным направлениям и предельное состояние. Показано интенсификация смолообразования и степени окисления смазочного материала, ускорение срабатывания присадок и его загрязнения при уменьшении уга­ра и увеличении форсировки дизеля наддувом. Обоснован угар 1,5-2,5 г/(кВт·ч), при котором циркуляционное масло и дизель функционируют в самых благоприятных условиях.

Для обеспечения экономичной ресурсосберегающей и экологически безопасной эксплуатации ДВС моторное масло (ММ) должно быть подобрано с учетом форсировки, технического состояния и режимов работы дизеля. Индикатором соответствия этих звеньев друг могут служить показатели работающего масла. Поэтому очень важно уметь рассчитать старение ММ с учетом форсировки дизеля и уга­ра масла.

Анализ кинетики основных направлений старения масла показывает, что ее можно описать одним дифференциальным уравнением материального баланса продуктов окисления и срабатывания присадок. Решение уравнения не вызывает затруднений. При принятии надлежащих допущений [2] оно интегрируется и после преобразования принимает вид:

$$c_i = c_{i0} \exp \left[- \frac{K_y Q_y + (Q_\phi \phi_\phi)_i}{G_0} \tau \right] + \left[\frac{Q_0 c_{i0} \pm a_i}{K_y Q_y + (Q_\phi \phi_\phi)_i} \right] \times \left\{ 1 - \exp \left[- \frac{K_y Q_y + (Q_\phi \phi_\phi)_i}{G_0} \tau \right] \right\}, \quad (1)$$

где c_i , c_0 , c_{i0} – текущая, начальная и в доливаемом масле концентрация i -го продукта старения, отн. ед., мгКОН/г;

a_i – скорость старения масла по i -му компоненту масла, кг/ч, гКОН/ч;

$K_y Q_y, (Q_\phi \phi_\phi)_i$ – интенсивность удаления из масла i -го компонента при его угаре и очистке, кг/ч;

Q_y, Q_ϕ – скорость угара и долива масла, кг/ч;

G_0 – вместимость системы смазки (картера), кг;

τ – время работы масла (дизеля), ч.

Экспоненциальная зависимость использовалась для аппроксимации экспериментальных данных. С ее помощью на основе метода наименьших квадратов обработаны результаты испытаний и найдены значения a_i , соответствующие задаваемым условиям старения масла. Решение поставленной задачи предусматривало:

- составление уравнения, представляющего собой сумму квадратов разности между результатами эксперимента и экспоненциальной зависимостью в заданных точках;
- определение экстремума уравнения, для чего выражается производная полученной функции по искомому параметру и приравнивается нулю;
- решение нового уравнения относительно искомого параметра.

Окончательное выражение для расчета интенсивности старения по любому из направлений при условии, что $c_{ij} = c_{id}$ имеет вид

$$a_i = K_y Q_y \frac{\sum_{j=1}^n (c_{ij} - c_{io})}{\sum_{j=1}^n \left\{ 1 - \exp \left[- \frac{K_y Q_y + (Q_\phi \phi_\phi)_i}{G_0} \tau_j \right] \right\}}, \quad (2)$$

где c_{ij} – содержание i -го компонента в масле за период τ_j его работы.

Найденные количественные показатели по срабатыванию присадки a_n , росту кислотности a_k , скорости загрязнения его нерастворимыми продуктами a , смолообразованию a_{cm} и степени окисления масла a_{co} позволяют рассмотреть по уравнению (1) кинетику основных направлений старения масла. Как показывает опыт исследования старения ММ, теоретически рассчитать показатели a_i не представляется возможным.

Накопленный опыт исследования старения ММ в судовых дизелях позволил сделать заключение, что с допустимой для практических целей точностью расчет a_i в условиях эксплуатации можно вести по модели a_i в форме полинома [1]. Обобщение данных по старению ММ в судовых тронковых дизелях средней и повышенной частоты вращения дало возможность выделить основные факторы, влияющие на рассматриваемый процесс. Один из них – тепловое воздействие на масляную пленку, находящуюся на зеркале цилиндра, которое оценивали через плотность теплового потока между рабочим телом и цилиндрической втулкой. Тепловой поток, действующий на верхние пояса втулки, особенно на такте расширения, значителен. Это свидетельствует о том, что наиболее жесткие условия старения масла имеют место в этой высокотемпературной зоне. Но учет теплового потока только на такте рабочего хода не дает достоверной информации о изменении физико-химических параметров масла во всей масляной системе дизеля. Поэтому необходимо учитывать q во всем диапазоне изменения угла поворота коленчатого вала, то есть за весь цикл двигателя. После получения значений локального теплового потока на различных поясах втулки по ее высоте каждый из них был скорректирован с учетом относительного времени воздействия потока на рассматриваемый пояс

$$\bar{q} = q \bar{\tau}, \quad (3)$$

где $\bar{\tau}$ – время воздействия теплового потока на зеркало цилиндра, отн. ед.,

$$\bar{\tau} = \frac{\tau}{\tau_u};$$

τ – время воздействия q на пояс втулки, с;

τ_u – время цикла, с.

Интенсивность старения ММ, поступающего на зеркало втулки, зависит не только от усредненного теплового потока, действующего на единицу поверхности масляной пленки, но и от общей поверхности пленки, подверженной тепловому воздействию. Немаловажную роль при этом играет продолжительность воздействия, особенно если пленка контактирует с

окислителем.

Поэтому часовое время-поверхность, умножаемое на усредненный тепловой поток характеризует теплоту, которая проходит через масляную пленку и вызывает старение ММ. Величина теплового потока рассчитывается по формуле

$$Q_{МП} = 60 \bar{q} (F \times \tau) n z i_u, \quad (4)$$

где $(F \times \tau)$ – время-поверхность цилиндра за один такт, $\text{м}^2\text{с}$;

n – частота вращения дизеля, мин^{-1} ;

z – тактность двигателя;

i_u – число цилиндров дизеля.

Время-поверхность цилиндра $(F \times \tau)$ за один такт находится из выражения (при $\lambda = 0,25$)

$$(F \times \tau) = \frac{\pi D S}{12 n} \int_0^{4\pi} \left(1 - \cos \varphi - \frac{\lambda}{2} \sin^2 \varphi \right) d\varphi = 63,75 \frac{\pi D S}{n}. \quad (5)$$

На основании зависимости (4) после выражения $(F \times \tau)$ в $\text{м}^2\text{ч}$ и подстановки в (3) получаем

$$Q_{МП} = 1,06 \pi D S z k \bar{q} = 1,67 D S k \bar{q}. \quad (6)$$

Наблюдением за состоянием масла, находящегося на зеркале цилиндра, установлено, что интенсивность основных направлений старения пропорционально величине $1,67 D S k$. Таким образом, между удельной интенсивностью i -го направления старения масла A_i , происходящего на единице поверхности масляной пленки (м^2) в единицу времени (ч), и интенсивностью старения ММ a_i выявлена следующая связь

$$a_i = 1,67 D S k A_i. \quad (7)$$

Основной эксперимент проводили на дизеле ДД112 (6ЧСПН18/22) (номинальная эффективная мощность 440 кВт, номинальная частота вращения коленчатого вала 1000 мин^{-1} , среднее эффективное давление 1,58 МПа). Режимы нагружения соответствовали рекомендациям [1]. Моторные испытания вели согласно требованиям ЦНИДИ (ОСТ 24.060.09-89). Нагаро- лакообразование на поршнях оценивали по ГОСТ 11362-76 [1].

Испытания вели на дизельном топливе Л-0,2-62 (ГОСТ 305-82). В качестве ММ использовали М10Г₂ЦС (ГОСТ 12371-84). Очистку ММ осуществляли полнопоточным фильтром ФМП-3 с использованием фильтрующих элементов ЭМФ 145/55.363. Масса масла в системе смазки составляла 200 кг. Взятие проб масла на анализ и его долив для компенсации угара осуществляли через 25 ч работы дизеля. Продолжительность этапа испытаний, при котором сохранялся постоянный угар масла, составляла 250 ч. Регулирование угара осуществляли увеличением маслосъемного действия поршневых колец, изменением конструкции и величины рабочих зазоров деталей в ЦПГ. Угар масла контролировали весовым методом.

Состояние ММ оценивали по концентрации нерастворимых продуктов (НРП), содержание которых в масле определяли методом центрифугирования (ГОСТ 20684-75). Кислотные свойства K контролировали по ГОСТ 11362-76. Степень (глубину) окисления масла $C_{\text{со}}$ определяли через отношение интегральной интенсивности поглощения карбонилсодержащих соединений – $C = 0$ к группе – $C = C$ – ароматических ядер. Содержание смол $C_{\text{см}}$ находили методом диализа и хроматографии. Срабатывание присадок контролировали сопоставлением щелочности фугата и диализата свежего и работающего масел.

В эксперименте использовали некомпозиционный план второго порядка. Уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Фактор	Кодовое обозначение	Интервал варьирования	Уровень факторов		
			нижний -1	основной 0	верхний +1
Удельный тепловой поток $\bar{q}$ на такте расширения, кВт/м^2	x_1	32	12	44	76
Качество масла M , отн. ед.	x_2	1	-1	0	1
Удельный угар масла g_y , $\text{г/(кВт}\cdot\text{ч)}$	x_3	1,5	1	2,5	4

Рангом 0 закодировано моторное масло М10Г₂ЦС. Маслам М10В₂С и М10Д₂ЦЛ20

(ГОСТ 12337-84) присвоены соответственно ранги -1 и +1.

Матрица планирования (таблица 2) предусматривала проведение четырех параллельных опытов в центре плана, по которым рассчитывалась дисперсия воспроизводимости. Коэффициенты модели определялись по формулам, приведенным в работе [3]. Для вычисления дисперсии воспроизводимости и адекватности находили сумму квадратов отклонений расчетных значений $\hat{y}$ от экспериментальных y соответственно в опытах 0, 5, 10, 15 и во всех точках плана.

При числе степеней свободы 3 и 5%-ном уровне значимости критерий Стьюдента t_m равен 3,18 [3]. Через него и рассчитанные значения дисперсии коэффициентов полинома находили доверительные их интервалы. После приведения факторов к натуральному виду получили модели старения в следующем виде:

$$A_{\pi} = 14,4 + 2,27\bar{q} - 33,9M - 46g_y - 1,12\bar{q}M + 0,565\bar{q}g_y + 48,4Mg_y - 0,032\bar{q}^2 + 49,8M^2 + 13,3g_y^2; \quad (8)$$

$$A_{\kappa} = 76,7 - 1,42\bar{q} - 51,7M - 33,9g_y + 0,489\bar{q}M + 0,43\bar{q}g_y + 6,17Mg_y + 0,0083\bar{q}^2 - 12,2M^2 + 8,57g_y^2; \quad (9)$$

$$A = 6,19 - 0,01\bar{q} - 2,67M - 3,12g_y + 0,0274\bar{q}M + 0,0059\bar{q}g_y - 0,214Mg_y + 0,0004\bar{q}^2 + 1,31M^2 + 1,4g_y^2; \quad (10)$$

$$A_{\text{см}} = 4,2 + 4,45\bar{q} - 41M - 68,1g_y - 0,71\bar{q}M + 0,649\bar{q}g_y + 16,7Mg_y - 0,06\bar{q}^2 + 52,6M^2 + 15,6g_y^2; \quad (11)$$

$$A_{\text{со}} = 126 + 2,42\bar{q} - 173M - 107g_y + 1,51\bar{q}M + 0,99\bar{q}g_y + 31,2Mg_y - 0,044\bar{q}^2 + 94,6M^2 + 19,4g_y^2. \quad (12)$$

Таблица 2 – Матрица планирования и результаты эксперимента

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	A_{π}	A_{κ}	A	$A_{\text{см}}$	$A_{\text{со}}$
0	0	0	0	0	81	45	7,7	80	116
1	1	1	1	0	123	85	10,3	58	156
2	1	1	-1	0	127	80	12,3	122	208
3	1	-1	1	0	147	24	5,7	19	103
4	1	-1	-1	0	29	85	11,4	83	154
5	1	0	0	0	81	50	7,8	80	104
6	1	1	0	1	202	154	19,5	105	180
7	1	1	0	-1	71	26	6,6	40	82
8	1	-1	0	1	96	83	16,2	21	28
9	1	-1	0	-1	13	40	4,5	66	126
10	1	0	0	0	89	45	8,6	80	116
11	1	0	1	1	342	117	16,5	165	269
12	1	0	1	-1	58	13	4,8	115	175
13	1	0	-1	1	127	126	21,0	179	227
14	1	0	-1	-1	132	59	8,1	229	320
15	1	0	0	0	81	50	8,6	89	104

Анализ уравнений (8)-(12) по различным направлениям старения ММ показал наибольшее влияние на срабатывание присадки и глубину окисления и смолообразования оказывает фактор M и g_y . Фактор q играет существенную роль при повышении кислотности и глубины окисления масла. Взаимодействие рассматриваемых факторов проявляется в наибольшей мере при росте кислотности масла, смолообразовании и в процессах окисления. Наименьшее влияние факторов q и M на старение масла проявляется в процессе образования НРП.

Концентрация присадок и нерастворимых примесей в масле определяются по следующим зависимостям

$$c_{i\infty} = \frac{c_{i0}Q_y - a_{\pi}}{K_yQ_y + (Q_{\phi}\varphi_{\phi})_i}. \quad (13)$$

Характер зависимости $c_{i\infty}(g_y)$ указывает на наличие экстремума у большинства кривых (рисунок). Самые благоприятные условия, влияющие на старение масла наблюдали при угаре 1,5-2,5 г/(кВт·ч). Показатели старения ММ $c_{i\infty}$ по содержания присадок Π , кислотных свойств K и концентрации общих и зольных нерастворимых продуктов НРП в этом диапазоне угара была экстремальны. Резкое падение Π и увеличение K , концентрации НРП при снижении g_y с 2 до 0,5 г/(кВт·ч) объясняется сокращением маслообмена. Последний по мере снижения угара уменьшался интенсивней чем падала скорость старения масла по рас-

считаемым показателям. На этом участке g_y и пополнение системы смазки свежим маслом по мере сокращения угара падало интенсивней уменьшения a_i . Поэтому наблюдалось снижение концентрации присадок в масле с 7 до 2,8%. При этом содержание НРП и кислотность соответственно возрастали с 3,4% и 2,7 мгКОН/г до 6,7% и 4,3 мгКОН/г.

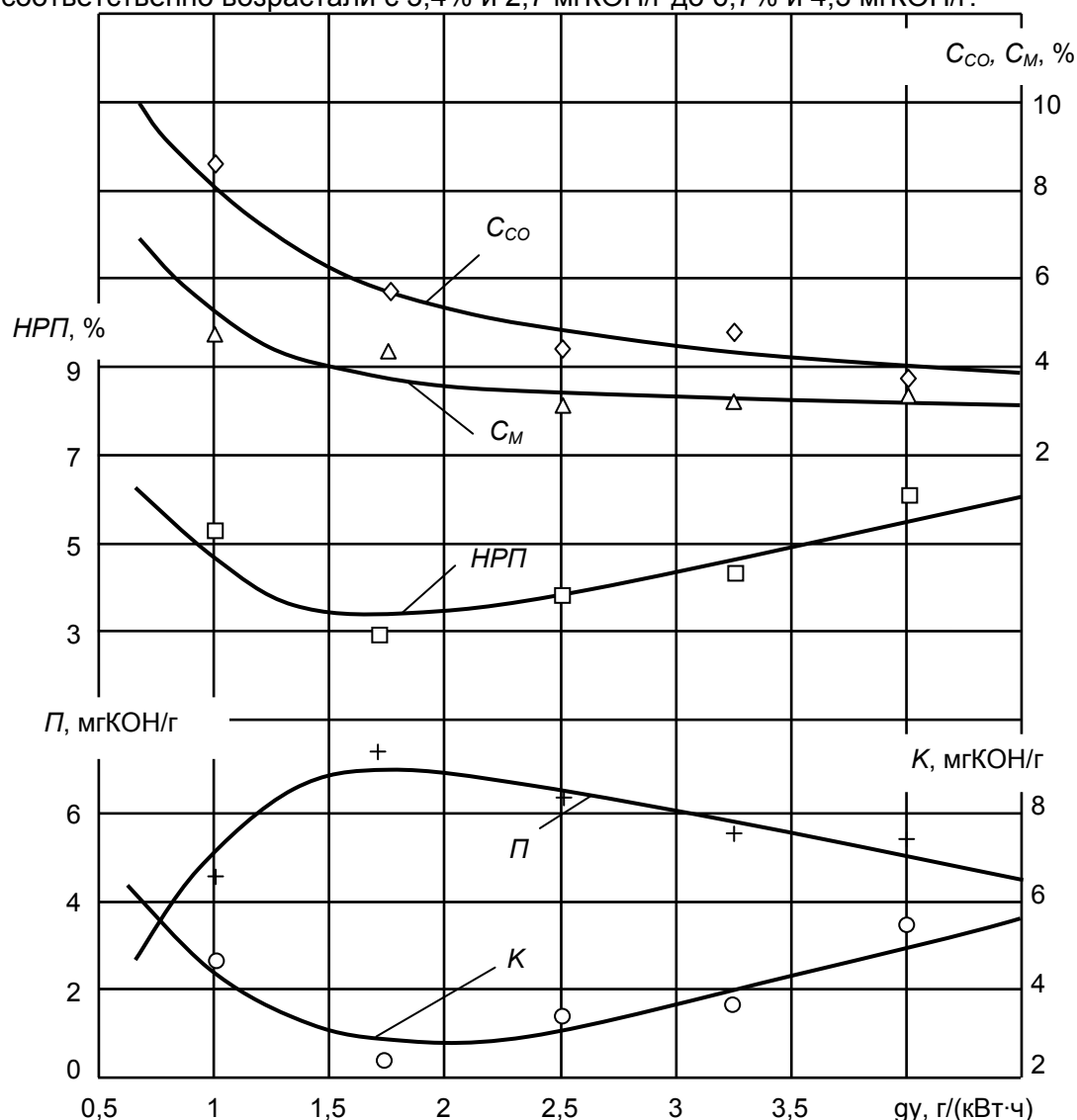


Рисунок – Влияние угара масла на его старение

На участке $g_y = 2-4,5$ г/(кВт·ч) также создавались неблагоприятные условия для старения ММ по показателям P , K и НРП. Здесь рост угара масла и увеличенный маслообмен не способствовали сохранению его состояния на выгодном уровне. При увеличении угара масла с 2,5 до 4,5 г/(кВт·ч) содержание присадки P снизилось с 6,2 до 4,4%.

В диапазоне $g_y = 2,5-4,5$ г/(кВт·ч) по мере увеличения угара кислотность K возросла с 3,3 до 4,8 мгКОН/г, а содержание НРП с 3,5 до 6,2 %. Уменьшение P , рост K и НРП в рассматриваемых границах g_y указывает на то, что при угаре более 2,5 г/(кВт·ч) рост a_i опережает увеличение маслообмена.

Анализ зависимостей $C_M, C_{CO}(g_y)$ показывает благоприятное воздействие увеличения угара на эти показатели. В диапазоне $g_y = 2,5-4,0$ г/(кВт·ч) снижение этих параметров сгорания ММ по мере роста угара незначительно – с 3,7 до 3,5% по содержанию смол и с 5,2 до 3,9% по продуктам глубокого окисления. При снижении угара с 2,0 до 0,5 г/(кВт·ч) интенсивность смолообразования возрастала в 1,9 раза и достигла значений 7,3 %. Содержание продуктов окисления увеличилось с 5,7 до 10%.

Подводя итоги по результатам испытания дизеля 6ЧСН18/22 с разным угаром можно

отметить ухудшение состояния масла М10Д₂ЦЛ и двигателя при g_y меньше 1,5 и больше 2,5 г/(кВт·ч). Уменьшения угара ниже 2 г/(кВт·ч) изменяет направление старения ММ в сторону интенсификации смолообразования и глубины окисления. При низких угарах резко возрастает срабатывание присадок, увеличение кислотности и концентрации НРП (см. рисунок).

Обобщая результаты моторных испытаний в дизеле 6ЧСН18/22 можно отметить что масла группы В не предназначены для эксплуатации в дизелях данной форсировки. При работе на дистиллятных топливах масла М10Г₂ЦС со щелочностью 9-10 мг КОН/г обеспечивают надежную и долговечную эксплуатацию тронковых дизелей с низким и средним наддувом. Уровень моторных и нейтрализующих свойств масла М10Д₂ЦЛ20 достаточен для долго работающего режима его использования в дизелях с высоким наддувом, эксплуатируемых на топливах глубокой переработки нефти.

С ростом форсировки увеличивается концентрация окислителя (кислорода) который действуя на масло, образует низкомолекулярные, плохо растворимые в масле соединения. При дальнейшем нагревании этих продуктов имеет место их взаимодействие, приводящее к образованию высокомолекулярных, не растворимых в масле продуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Перминов, Б.Н. Научно-технические основы эффективного маслоиспользования в судовых тронковых дизелях: монография / Б.Н. Перминов. - Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2005. - 378 с.

2 Захаров, С.М. Прогнозирование показателей износостойкости нестационарно-нагруженных опор скольжения силовых установок с помощью метода имитационного моделирования / С.М. Захаров // Трение и износ. -1982. -Т.3, №5. -С. 789-800.

3 Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. -М.: Машиностроение, 1981. -184 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: угар масла, старение масла, интенсификация загрязнений, срабатывание присадок
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Гаук Георгий 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»

К ВОПРОСУ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВОЗА

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

В.А. Михеев

TO A QUESTION OF THE CONTROL AND AN EVALUATION OF A LOCOMOTIVE DIESEL-ENGINE INSTALLATION WORKING PARAMETERS

«Omsk state transport university»
V.A. Mikheyev

In clause the question of modeling of a locomotive diesel-engine installation functioning for optimization of quantity of controllable parameters with the use of graph-theory device is viewed.

Keywords: diesel-engine installation, graph-models, controllable parameters

Рассмотрен вопрос моделирования функционирования дизель-генераторной установки тепловозов с использованием аппарата теории графов для оптимизации количества параметров контроля.

В процессе эксплуатации тепловоза, в частности до и после ремонтных и обслуживающих воздействий возникает задача по контролю текущего теплотехнического состояния дизель-генераторной установки с целью принятия необходимых технических решений по его коррекции. Успешное решение обозначенной задачи усложняется тем, что теплотехническое состояние тепловозной дизель-генераторной установки, представляющей собой сложную электромеханическую систему, может характеризоваться большим количеством выходных параметров различной физической природы. Контроль всех возможных параметров связан с большими материальными и временными затратами.

Отсутствие однозначной совокупности параметров контроля приводит к необходимости

решения определенного круга задач по разработке и последующему анализу модели функционирования дизель-генераторной установки тепловоза. На основе анализа модели объекта можно сформировать оптимизированную научно-обоснованную совокупность параметров, использование которых непосредственно в процессе эксплуатации тепловоза или при проведении реостатных испытаний в депо позволит получить достаточный объем информации для оценки текущего теплотехнического состояния дизель-генераторной установки, ее функциональных элементов и систем.

Одним из возможных подходов к математическому описанию сложных объектов является путь создания граф-моделей, базирующийся на содержательном описании объекта, то есть на имеющихся сведениях о его структуре и способе действия [1-3]. Функционирующий объект представляется топологическим пространством и изображается в виде графа. При этом используются существенные свойства функционирования объекта, а также множество взаимосвязей его параметров. Поскольку на практике обычно имеется конечное множество свойств или параметров объекта, топологическую модель можно изобразить в виде конечно-ориентированного графа.

Граф-модель функционирования объекта образуется путем присвоения абстрактной топологической модели содержательного смысла исследуемого объекта. При этом элементы абстрактного множества приобретают смысл конкретных свойств, существующих для нормального функционирования объекта, а топология – конкретных причинно-следственных связей между этими свойствами.

Для целей контроля качества функционирования объекта исследования граф-модель должна представлять отображение пространства взаимовлияния параметров более или менее доступных для наблюдения или измерения в эксплуатации. Построение такой модели тепловозной дизель-генераторной установки необходимо начинать с ее создания в пространстве контролируемых свойств, так как функционирование сложных технических систем, к которым относится тепловозная дизель-генераторная установка, компактно может быть описано лишь на таком уровне [1].

Выбраны следующие основные свойства: X_1 - преобразование химической энергии топлива в механическую; X_2 - распределение выработанной механической энергии; X_3 - преобразование механической энергии в электрическую; X_4 - регулирование вырабатываемой энергии; X_5 - функционирование систем и элементов дизель-генераторной установки. Выбранные свойства связаны в единую систему (рисунок 1).

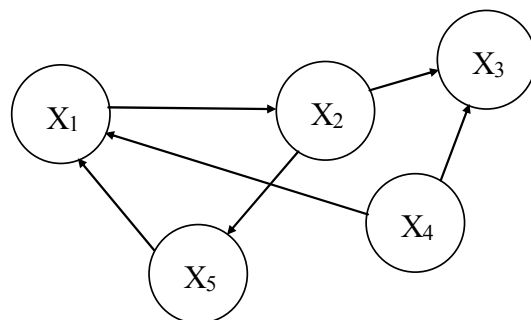


Рисунок 1 – Ориентированный граф в пространстве основных свойств функционирования дизель-генераторной установки тепловоза

Ориентированный граф, отображающий отношения выбранных свойств функционирования, служит лишь исходным материалом. На следующем этапе разработки модели необходимо дополнить и уточнить исходную граф-модель, то есть осуществить переход к более детализированным свойствам.

При уточнении модели дополнительно выявляем свойства, имеющие значение для описания функционирования объекта. С этой целью составлена структурная функциональная схема моделируемого объекта, на которой входные и выходные связи функциональных элементов и систем отмечены символами детализированных свойств.

На рисунке 2 приведена составленная структурная функциональная схема дизель-генераторной установки 1А-9ДГ тепловоза 2ТЭ116 [4], позволяющая произвести детализацию основных свойств: x_{11} - преобразование химической энергии топлива в энергию сжатых в цилиндре газов; x_{12} - преобразование энергии сжатых в цилиндре газов в механическую энергию на коленчатом валу дизеля; x_{21} - передача механической энергии функциональным элементам энергетической цепи тепловоза; x_{22} - передача механической энергии приводным элементам функциональных систем дизель-генераторной установки; x_{31} - преобразование механической энергии на коленчатом валу дизеля в электрическую на зажимах тягового синхронного генератора; x_{32} - выпрямление и передача электрической энергии в силовую

цепь; x_{32} -воздействие электромагнитных сил генератора на дизель; x_{34} -передача электрической энергии приводным элементам вспомогательных систем дизель-генераторной установки; x_{35} -воздействие нагрузки на тяговый синхронный генератор; x_{41} -регулирование частоты вращения коленчатого вала дизеля; x_{42} -воздействие объединенного регулятора на систему возбуждения тягового генератора; x_{43} -взаимодействие дизеля с органами регулирования; x_{44} -обратная связь нагрузки с органами формирования управляющего воздействия на систему возбуждения синхронного генератора; x_{45} -выработка управляющего воздействия на систему возбуждения тягового синхронного генератора; x_{51} -подвод масла к трущимся деталям дизеля и отвод тепла в масло, размещение запасов, циркуляция, фильтрация и охлаждение масла; x_{52} , x_{53} -принудительный отвод тепла от деталей дизеля и теплоносителей вспомогательных систем тепловоза, размещение запасов, циркуляция и охлаждение воды; x_{54} -фильтрация и подвод топлива к дизелю, подача и впрыскивание топлива в цилиндры; x_{55} -подвод воздуха к цилиндрам дизеля и отвод отработавших газов, забор воздуха из атмосферы и его сжатие, охлаждение наддувочного воздуха; x_{56} -регулирование возбуждением синхронного генератора. Выбранные свойства рассматриваются как простые, и не подлежащие дальнейшей детализации на принятом уровне конкретизации модели объекта [1].

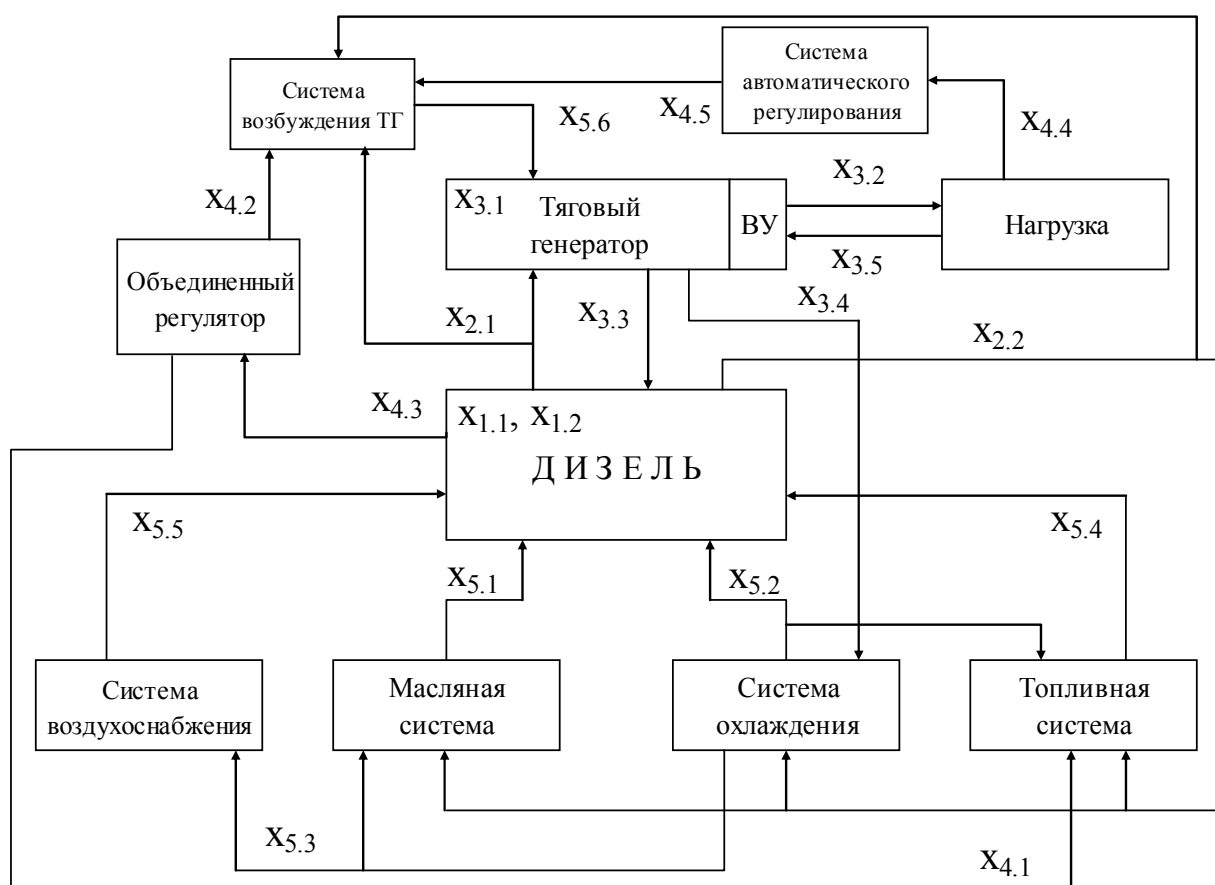


Рисунок 2 – Структурная схема дизель-генераторной установки тепловоза

На следующем этапе выделили причинно-следственные связи между свойствами в соответствии с имеющимся содержательным описанием и физикой функционирования дизель-генераторной установки. Это процедура подразумевала определение множества ребер U графа, представляющих множество бинарных отношений v на множестве свойств функционирования системы [1]. Соединив ребрами вершины в соответствии с причинно-следственными связями свойств, получили граф-модель функционирования объекта в пространстве детализированных свойств (рисунок 3). Эта модель рассматривалась как исходная для построения граф-модели дизель-генераторной установки тепловоза в пространстве параметров.

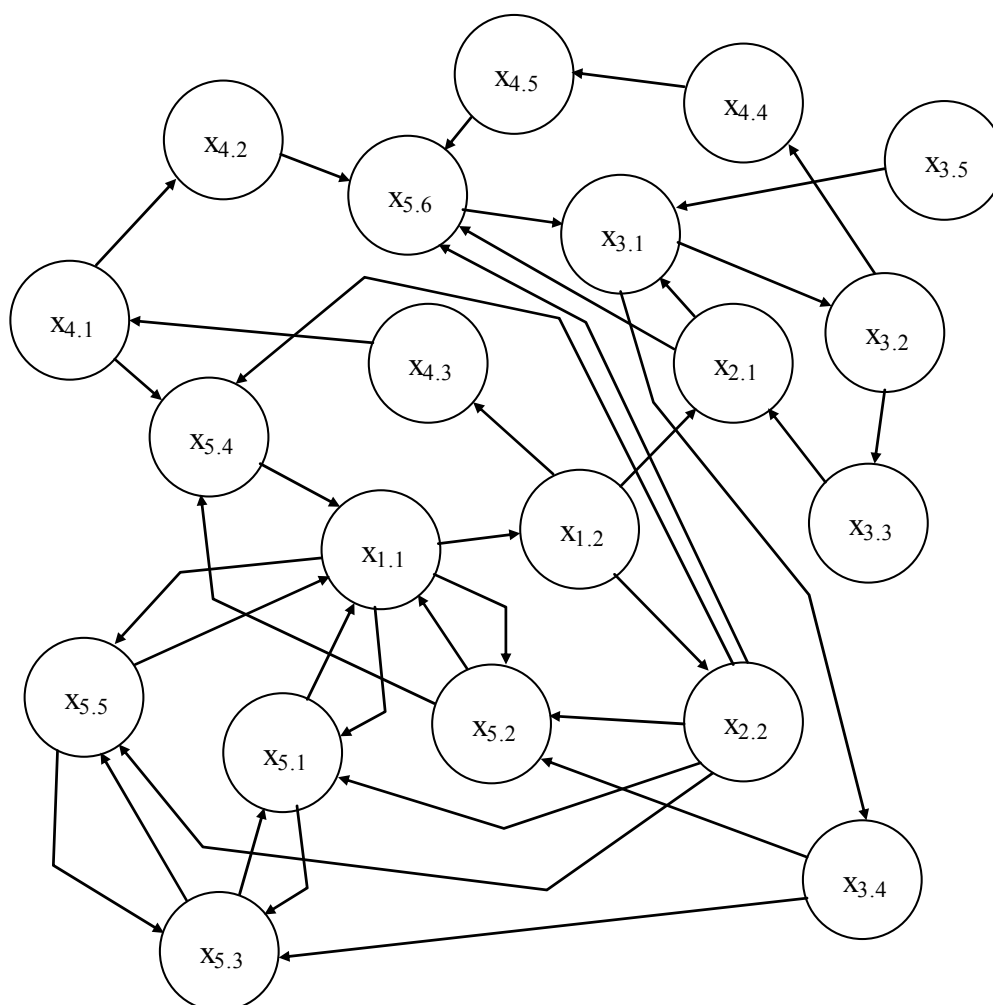


Рисунок 3 – Граф-модель дизель-генераторной установки тепловоза в пространстве свойств

Для количественной оценки свойств функционирования дизель-генераторной установки каждому простому свойству сопоставим соответствующий параметр или множество параметров. Мощность каждого множества параметров в соответствии с [1] определяется принятым уровнем конкретизации модели объекта контроля.

Каждое простое свойство рассматривается отдельно с последующим сведением в общую модель дизель-генераторной установки.

Например, свойству x_{55} (рисунок 4) [5] может быть сопоставлена следующая совокупность параметров:

- P'_o – давление воздуха после воздушного фильтра (ВФ);
- T'_o – температура воздуха после ВФ;
- $v_{вг}$ – скорость газов на лопатках турбокомпрессора (ТК);
- $n_{тк}$ – частота вращения ротора ТК;
- $G_{тк}$ – производительность ТК;
- $P_{взтк}$ – давление газов на входе ТК;
- $T_{взтк}$ – температура газов на входе ТК;
- $P'_{взтк}$ – давление после ТК;
- $T'_{взтк}$ – температура после ТК;
- $P_{взон}$ – давление воздуха на входе охладитель надувочного воздуха (ОНВ);
- $T_{взон}$ – температура воздуха на входе ОНВ;
- $G_{взон}$ – расход воздуха проходящего через ОНВ;
- $P'_{взон}$ – давление воздуха на выходе ОНВ;
- $T'_{взон}$ – температура воздуха на выходе ОНВ;

$P_{ВЗВПК}$ – давление во впускном коллекторе (ВПК);
 $T_{ВЗВПК}$ – температура воздуха в ВПК;
 $G_{ВЗД}$ – расход воздуха дизелем;
 $P_{ВГ\ i}$ – давление выпускных газов;
 $T_{ВГ\ i}$ – температура выпускных газов;
 $G_{ВГ}$ – расход выхлопных газов;
 $P_{ВГВК}$ – давление газов в выпускном коллекторе (ВЫПК);
 $T_{ВГВК}$ – температура газов в ВЫПК).

Посредством замещения каждого простого свойства соответствующим подмножеством параметров с учетом гомоморфного отображения [1, 3] получаем граф-модель объекта в пространстве параметров.

Составленная граф-модель объекта в пространстве параметров позволяет минимизировать число точек контроля для оценки текущего теплотехнического состояния дизель-генераторной установки, ее функциональных элементов и систем. Математически данную задачу можно свести к отысканию минимальных внешне устойчивых подмножеств (МВУП) графа, что предполагает уменьшение числа вершин модели в пространстве параметров путем их отбрасывания таким образом, чтобы они отображались в отобранных при минимизации вершинах.

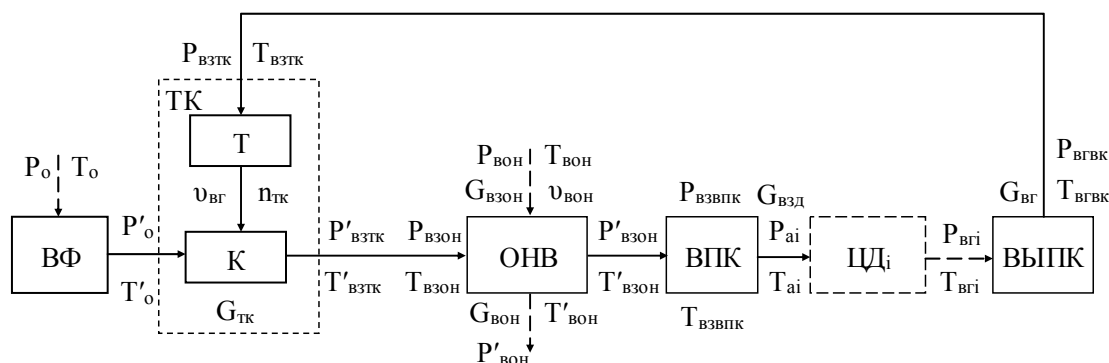


Рисунок 4 – Функциональная блок-схема свойства χ_{55} : ВФ-воздушные фильтры; ТК-турбокомпрессор; ОНВ-охладитель надувочного воздуха; ВПК-впускной коллектор; ЦД-цилиндры дизеля; ВЫПК-выпускной коллектор

Трудности, связанные с нахождением оптимального МВУП, могут быть преодолены путем применения практических алгоритмов минимизации набора контролируемых параметров, использующих логический и алгебраический подходы [1-3]. Эти алгоритмы позволяют находить оптимальное подмножество параметров для контроля работоспособности или диагностирования объекта исследования практически в графе любой сложности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Диагностирование на граф-моделях: на примерах авиационной и автомобильной техники / Я.Я. Осис [и др.]. -М.: Транспорт, 1991. -244 с.
- 2 Пушкарёв, И.Ф. Контроль и оценка технического состояния тепловозов / И.Ф. Пушкарёв, Э.А. Пахомов. -М.: Транспорт, 1985. -160 с.
- 3 Бервинов, В.И. Техническое диагностирование локомотивов / В.И. Бервинов. -М.: УМК МПС РФ, 1998. -193 с.
- 4 Тепловоз 2ТЭ116 / С.П. Филонов [и др.]. -М.: Транспорт, 1996. -334 с.
- 5 Сковородников, Е.И. Моделирование системы воздухообеспечения тепловозного дизеля с целью оптимизации количества параметров контроля / Е.И. Сковородников, В.А. Михеев // Ом. науч. вестн. -Омск. 2008. -№4(73). -С. 87-91.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизель-генераторная установка, граф-модель, параметры контроля
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Михеев Владислав Александрович, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЭЦ

ГОУ ВПО «Читинский государственный университет»

П.Г. Сафронов, С.А. Иванов, А.Г. Батухтин, И.Ю. Батухтина

WAY OF THE INCREASE TO ECONOMY OF THE MAIN EQUIPMENT OF THERMAL POWER STATION
«Chita state university»

P.G. Safronov, S.A. Ivanov, A.G. Batuhitin, I.Yu. Batuhitina

Considered heat scheme to stations with redistribution heat flow between turbine.

Keywords: heat provision, turbine, lamellar heater, consumer

Рассматривается тепловая схема станции с перераспределением тепловых потоков между турбинами.

Централизованное теплоснабжение представляет собой сложный объект регулирования и управления. В настоящее время централизованное теплоснабжение может иметь различную иерархию, например ТЭЦ-тепловая сеть-потребитель или ТЭЦ-тепловая сеть-котельная-тепловая сеть-потребитель. Помимо котельных, теплоснабжение может осуществляться индивидуально, то есть децентрализованно, кроме того существуют разработки комбинированного использования централизованного и децентрализованного теплоснабжения. Уровень тепловой энергии произведенной на базе комбинированной выработки с каждым годом уменьшается. Термодинамически, производство тепловой энергии совместно с электрической выгодней раздельной и доказано в [1].

ТЭЦ является неотъемлемой частью комплекса теплоснабжения и ее работу необходимо рассматривать совместно с тепловыми сетями и потребителем. В условиях г. Читы смена температуры сетевой воды в падающем трубопроводе на ТЭЦ1 происходит два раза в сутки и определяется по средней температуре наружного воздуха за интервал времени. Методики составления температурных графиков, несмотря на пристальное внимание к этому вопросу, остается по методике, изложенной в [2]. Большая протяженность тепловых сетей, разнородность нагрузки и наличие автоматизированных абонентов создают не благоприятные тепловые режимы в зданиях, не оборудованных автоматикой. Под автоматизированным абонентом понимается абонент, осуществляющий количественное изменение тепловой нагрузки, то есть тонкое регулирование, осуществляемое путем изменения расхода сетевой воды. За последние годы изношенность тепловой сети в некоторых местах достигла 90-95%. Участки с отсутствием изоляции возросли, косвенным подтверждением может служить снижение температуры возвращаемой на ТЭЦ сетевой воды в среднем на десять градусов.

Нагрев сетевой воды на ТЭЦ осуществляется в сетевых подогревателях. Любой пароводяной поверхностный подогреватель имеет температурный напор или недогрев. Величина недогрева в сетевом подогревателе определяется по формуле [3]

$$\nu_H = t_H - t_2 = (t_2 - t_1) \exp\left(-\frac{kF}{Wc_B}\right), \quad (1)$$

где t_H, t_1, t_2 – температура насыщения греющего пара, сетевой воды на входе и выходе из сетевого подогревателя, °С;

F – площадь поверхности теплообмена, м²;

W – расход сетевой воды, кг/с;

c_B – теплоёмкость воды, кДж/(кг·°С);

k – коэффициент теплопередачи, Вт/м².

При эксплуатации сетевых подогревателей в условиях плохого качества сетевой воды, что имеет место быть в реальных условиях эксплуатации любой тепловой сети, возникают отложения со стороны нагреваемой среды. Данное отложение приводит к снижению коэффициента теплопередачи, а уменьшение коэффициента теплопередачи приводит к увеличению величины недогрева. Увеличение недогрева по сравнению с расчетными значениями может достигать 35-40 °С [4]. В таких условиях для поддержания температуры сетевой воды по температурному графику необходимо повышать давление в теплофикационном отборе. Повышение давления снижает экономичность производства энергии на паровой турбине. Для наглядности показатели экономичности сетевых подогревателей в отопительный сезон возьмем выборочно из [4] и сведем в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты оценки состояния поверхностей нагрева сетевых подогревателей

Дата измерения	Температура воды		Давление пара в отборе, МПа	Расход сетевой воды, т/ч	Расчетный недогрев, °С	Недогрев, °С
	на входе, °С	на выходе, °С				
16.11.86	70	100	0,235	915	5,9	25
26.09.88	66	95	0,172	1020	8	20
06.02.89	69	88	0,316	1050	4,8	46

Из таблицы 1 видно, что к концу отопительного сезона температурный напор значительно выше, чем в начале сезона. На рисунке 1 изображена принципиальная тепловая схема станции, позволяющая значительно повысить экономичность станции.

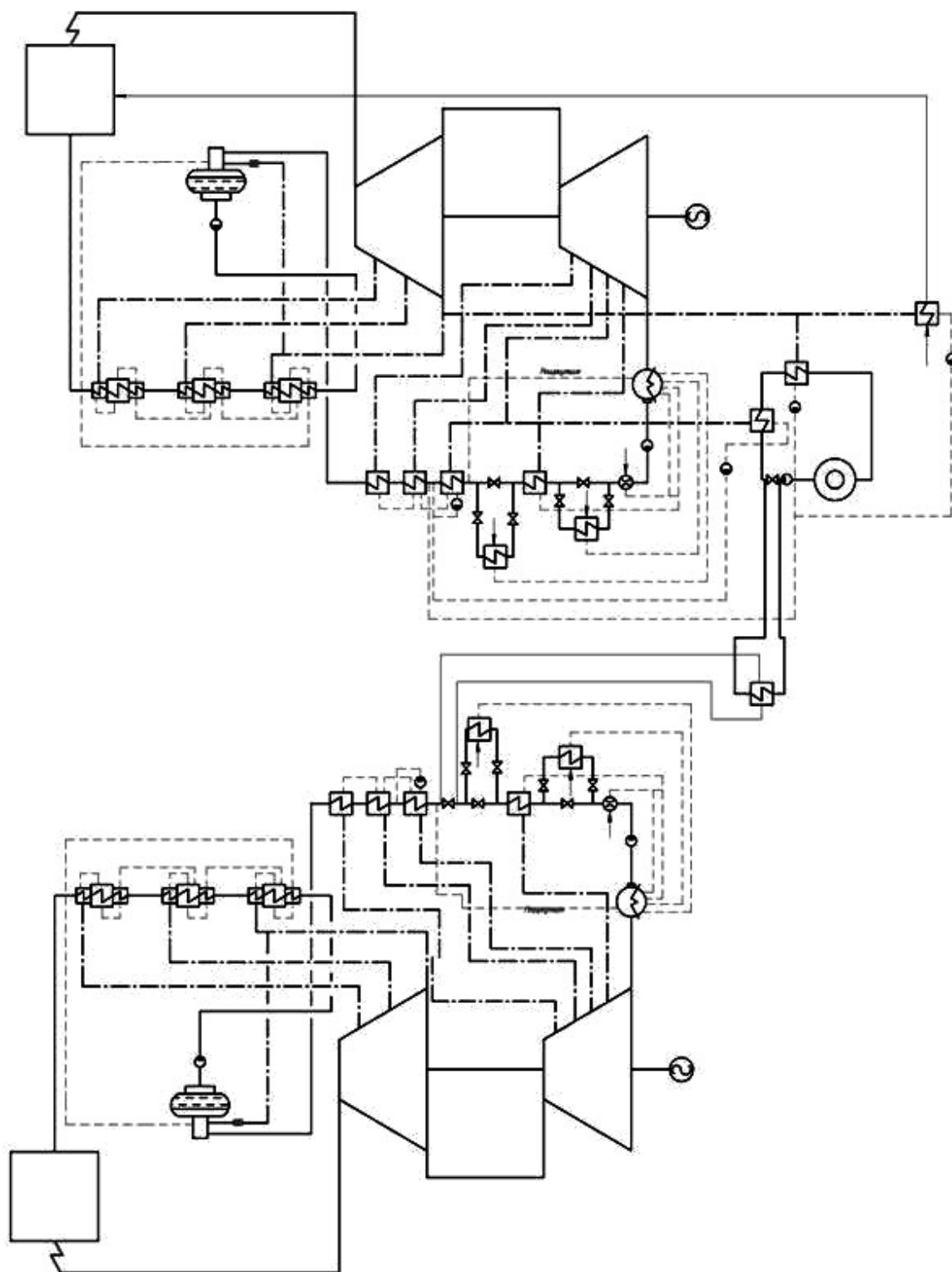


Рисунок – Принципиальная тепловая схема станции повышенной экономичности

Большинство ТЭЦ в своем составе не имеют чисто конденсационных блоков, наличие только теплофикационных блоков так же позволит реализовать предлагаемый способ. Повышение экономичности осуществляется следующим образом: перед сетевыми подогревателями теплофикационной турбины делается врезка трубопроводов соединенных с водоводяным подогревателем, у второй турбины делается перед линией рециркуляции конденсата. Температура питательной воды перед линией рециркуляции составляет более 90 °С. При нагреве питательной водой сетевую воду, количество пара, поступающего на сетевой подогреватель уменьшится, при этом снизится и расход пара поступающего на турбину, при равной мощности в рассматриваемых вариантах. При этом, по формуле (1), снизится недогрев в сетевом подогревателе, а следовательно и давление в теплофикационном отборе так же снизится, а эффективность когенерации увеличится. Отметим, что пар регенеративного подогревателя второй турбины, расположенного за линией рециркуляции конденсата увеличится. Если действительный теплоперепад до регенеративного отбора ниже или равен теплофикационному, то в таком случае выигрыш в экономичности достигается за счет перераспределения отборов пара между турбинами, но поскольку недогрев в сетевых подогревателях значительно отличается от расчетных значений и теплоперепад до теплофикационного отбора, как правило, ниже, чем до регенеративного второй турбины, то выигрыш в экономичности возможен на широком диапазоне нагрузок.

Был произведен расчет принципиальной тепловой схемы в [5] показанной на рисунке. В качестве теплофикационной и конденсационной турбины были выбраны ПТ-60-90. Выбор обусловлен привязкой к конкретной станции (Читинской ТЭЦ1), кроме того эти турбины между собой связаны поперечными связями, с остальными турбинами они связаны только по электрической нагрузке.

Анализируя полученные значения (таблица 2) и учитывая поперечные связи по пару между турбинами, вывод однозначен: схема экономична, так как суммарно расход пара на турбины снизился, а следовательно и расход топлива на выработку энергии снизится. При учете снижения недогрева в сетевом подогревателе от изменения режима работы турбины расход пара на турбину снизился более значительно. Помимо турбины снижение потребляемого пара благоприятно скажется на энергетических котлах, так как КПД котельных агрегатов имеет вид параболы с ветвями направленными вниз и максимум приходится на нагрузку ниже 100%.

Таблица 2 – Техничко-экономические показатели схемы

Наименование	Без теплообменника		С теплообменником	
	КРТ*	ТРТ**	КРТ*	ТРТ**
Мощность, МВт	55	50,0	55	50,0
Полезно отпущенное тепло, МВт	0	45,36	0	45,36
Температура воды перед сетевым подогревателем, °С	–	54	–	60,66
Температура воды после сетевых подогревателей, °С	–	90	–	90
Расход пара на турбину, т/ч	225,47	249,24	232,04	242,4/238,3
Расход отработавшего пара, т/ч	168,02	80,29	159,03	112,59/112,75
Недогрев в сетевом подогревателе, °С	–	46	–	46/40
Давление в теплофикационном отборе, МПа	–	0,343	–	0,343/0,288

*- конденсационный режим турбины; **- теплофикационный режим турбины

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Рыжкин, В.Я. Тепловые электрические станции: учеб. для вузов / В.Я. Рыжкин; под ред. В.Я. Гришфельда. -3-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1987. -328 с.: ил.
- 2 Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов / Е.Я. Соколов. -7-е изд., перераб. -М.: Энергоиздат, 2001. -472 с.: ил.
- 3 Гиршфельд, В.Я. Режимы работы и эксплуатация ТЭС / В.Я. Гиршфельд, А.М. Князев, В.Е. Куликов. -М.: Энергия, 1980. -288 с.
- 4 Повышение эффективности работы ТЭС Читинской энергосистемы: отчет о НИР (заключ.). Ч.2. Оптимизация режимов отпуска тепла от Читинской ТЭЦ1. -Чита, 1989.
- 5 Батухтин, А.Г. Программа расчета реальных тепловых схем ТЭС и распределения тепловых и электрических нагрузок между агрегатами «Scheme Calculation»: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2009614236 / А.Г. Батухтин, П.Г. Сафронов,

В.А. Мершеева.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *теплоснабжение, турбина, пластинчатый подогреватель, потребитель*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Сафронов Павел Григорьевич, аспирант ГОУ ВПО «Читинский ГУ»*

Иванов Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, профессор, первый проректор ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

Батухтин Андрей Геннадьевич, канд. техн. наук, директор технико-внедренческого парка ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

Батухтина Ирина Юрьевна, канд. физ.-мат. наук, ст. преподаватель ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *672039, г. Чита, ул. Александрово-Заводская, 30, ГОУ ВПО «Читинский ГУ»*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СУДОВЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМ ДИЗЕЛЯ

ГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

О.П. Шураев

MATHEMATICAL MODEL OF SHIP HEAT EXCHANGERS AND THE APPLICATION OF THIS MODEL IN SIMULATING OF DIESEL ENGINE SYSTEMS

«Volga state academy of water transport»

O.P. Shurayev

Heat exchangers are an important constituent part of a ship energy plant. They are used both in general ship systems and in systems meant for servicing main and auxiliary engines. A mathematical model has been proposed enabling to perform either project or verification calculation of heat exchangers of different applications, as well as to simulate their performance in different regimes.

Keywords: heat exchangers, simulation modeling, ship diesel engine systems

Теплообменные аппараты (ТА) являются важной составной частью судовой энергетической установки. Они применяются как в общесудовых системах, так и в системах, обслуживающих главные и вспомогательные дизели. Предложена математическая модель, позволяющая выполнить проектный или поверочный расчет теплообменных аппаратов различного назначения, а также имитировать их работу на различных режимах.

В судовых энергетических установках преимущественно используются кожухотрубные ТА. Разрабатываемая с середины 90-х годов математическая модель кожухотрубного ТА позволяет выполнять проектно-поверочные расчеты теплопередачи и оценивать гидравлическое сопротивление ходов. Реализация этой модели в математическом пакете Mathcad обеспечила очень большую гибкость расчетов. В процессе расчета можно не только оперативно изменять исходные данные и отслеживать их влияние на искомые параметры, но и вывести для анализа любой промежуточный результат. Это позволяет оперативно, в процессе расчета, вносить коррективы в конструкцию ТА: изменить длину теплообменника, число трубок в пучке, решить вопрос об установке вытеснителей с целью увеличения скорости потока в межтрубном пространстве и т. п. [1].

В модели изначально заложен расчет интенсификации теплообмена турбулизаторами пограничного слоя в виде кольцевых плавно очерченных выступов [2], позволяющий не только определить коэффициент теплопередачи в этом случае, но и выполнить оценку увеличения коэффициента теплоотдачи по сравнению с гладкими трубами.

Включение в модель блока расчета изменения температуры по длине теплообменного аппарата (рисунок 1) позволило найти применение рассматриваемой модели в учебном процессе в рамках дисциплины «Теплотехника».

Теплофизические свойства теплоносителей (воды, воздуха, смазочных масел и т.п.) заданы в виде аналитических функций, что позволило полностью отказаться от справочных таблиц и необходимости ручного ввода табличных значений. Это не только повышает скорость счета, но и исключает появление ошибок, связанных с неправильным прочтением таблиц или вводом этих значений. Интеграция с Excel позволила формировать таблицы исходных данных и выполнять серии расчетов.

Модель легко модифицируется при необходимости выполнения расчета для теплообменных аппаратов, отличающихся от базовых типов. Внедрение информационных технологий в процесс проектирования ТА позволяет перейти от типового ряда к созданию отдельных экземпляров ТА на основе серийных комплектующих. Это своего рода конструктор, по-

звляющий гибко подбирать ТА, в максимальной степени соответствующий техническому заданию.

В настоящее время модель позволяет вести расчет ТА различных компоновочных схем (рисунок 2а-2ж). Модификация блока решения уравнений теплового баланса и теплопередачи позволила выполнять расчеты не только одиночных ТА, но и модулей, состоящих из нескольких аппаратов. Возможен расчет модулей, состоящих из ТА с последовательным или параллельным соединением ходов (рисунок 2з-2л). Также данная модель позволяет рассчитать двухступенчатые ТА с параллельным ходом по одному теплоносителю и последовательным по другому [3].

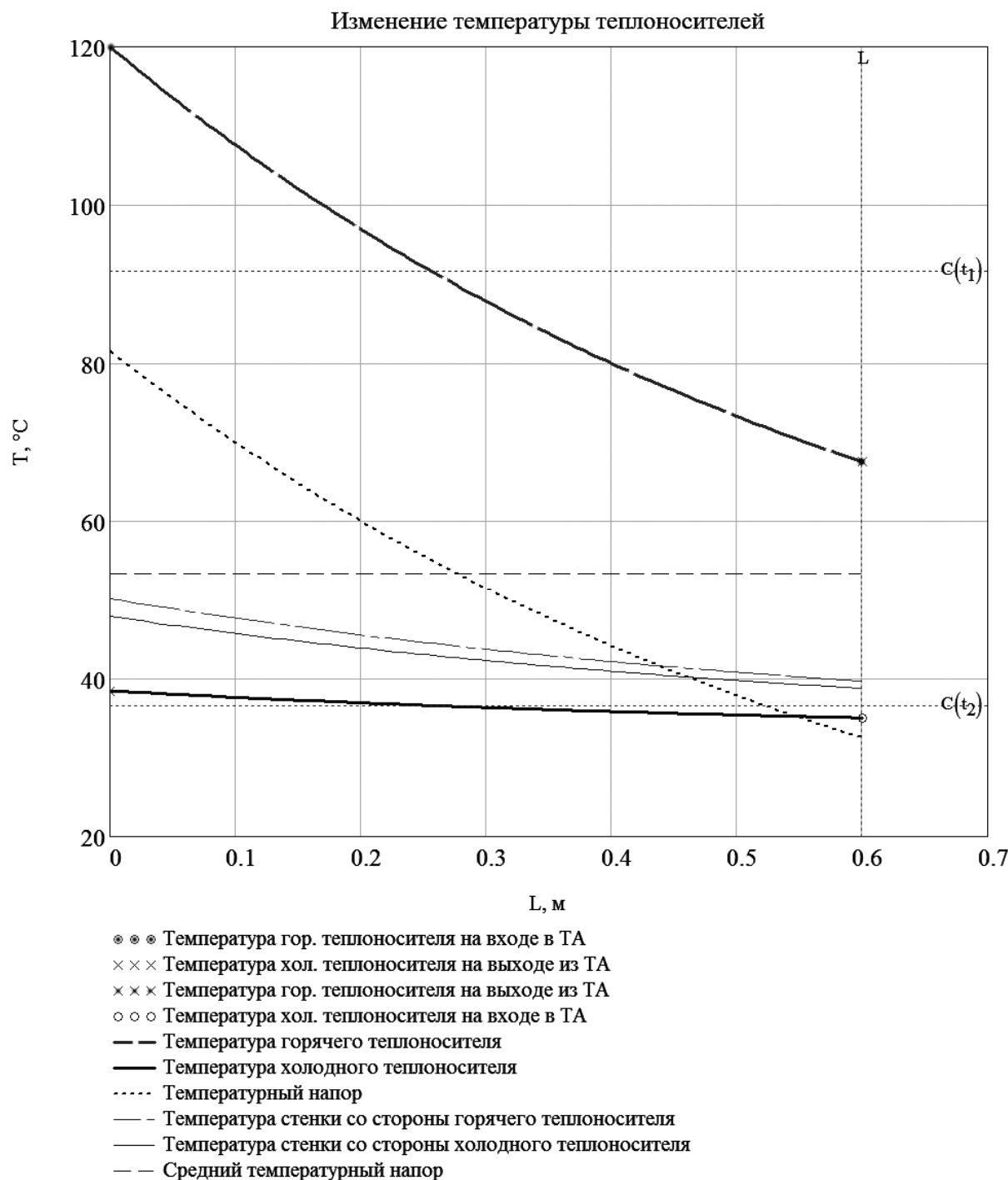


Рисунок 1 – Изменение температуры теплоносителей по длине теплообменного аппарата

Длительная успешная эксплуатация модели для проектных и поверочных расчетов ТА создала условия для ее использования в имитационном моделировании систем судовой энергетической установки, и, в частности, систем главных и вспомогательных дизелей. Пер-

вым шагом в этом направлении была разработка ОСХ-компонента HeatExchanger (рисунок 3). Компонент представляет собой инкапсулированный программный модуль, содержащий свойства объекта «теплообменный аппарат» - входные и выходные переменные расчета; и события, связанные с изменением режима работы ТА и вызывающие пересчет его выходных параметров. После тестирования и доводки компонент HeatExchanger предполагается использовать в программах-имитаторах систем судовой энергетической установки. Компонент HeatExchanger позволяет моделировать теплопередачу в охладителях воды внутреннего контура, охладителях масла, подогревателях топлива, а также в охладителях надвучного воздуха.

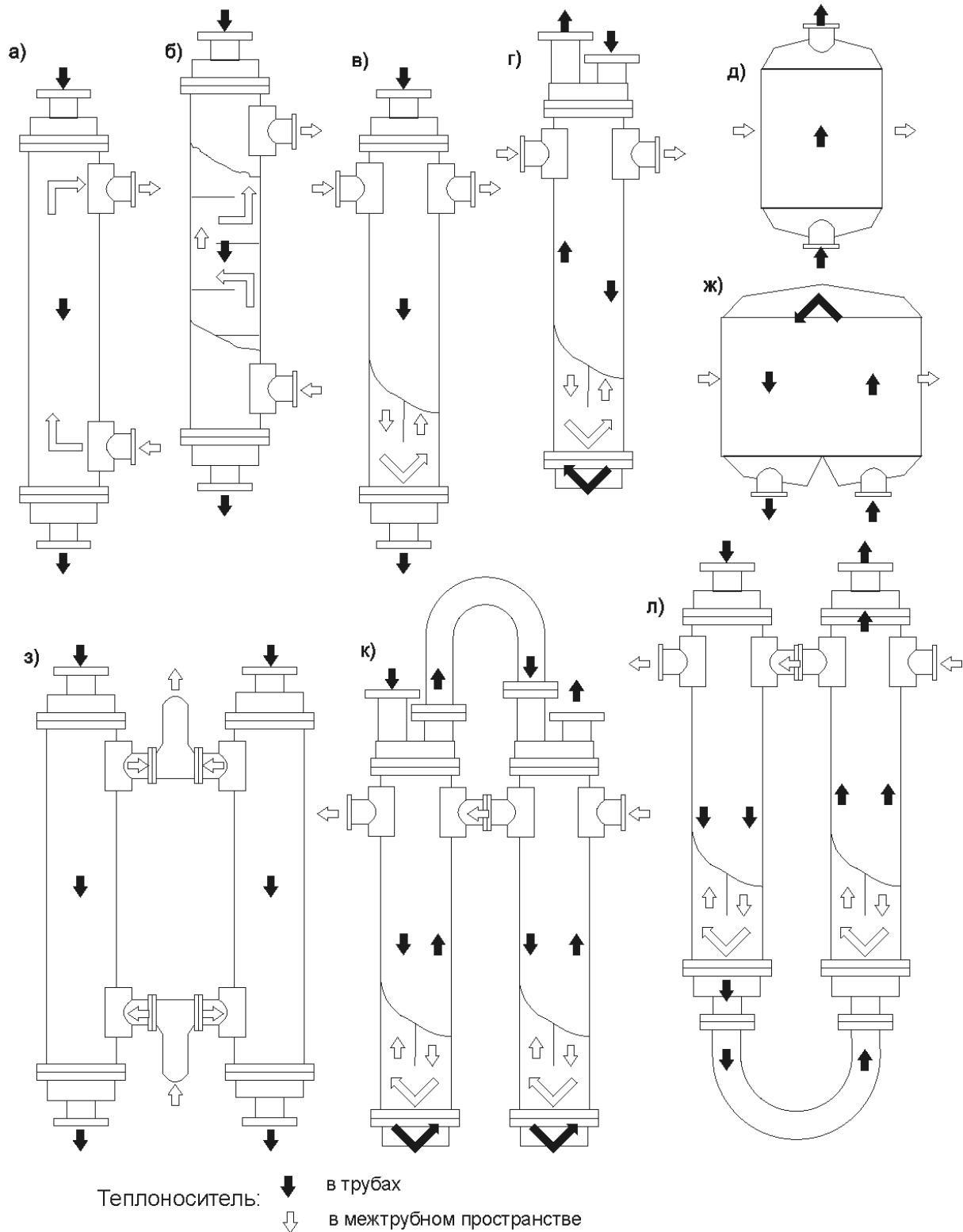


Рисунок 2 – Схемы ходов теплоносителей и объединение ТА в модули

Так, например, компонент HeatExchanger входит в состав разрабатываемой имитационной модели системы охлаждения главного дизеля (рисунок 4). На судах эта система состоит из двух контуров: пресная (специально подготовленная) вода внутреннего контура охлаждает непосредственно детали дизеля, а затем отдает теплоту в теплообменном аппарате заборной воде, циркулирующей во внешнем контуре. Эта модель и ей подобные составляют основу математического обеспечения тренажерных программ, в данном случае, тренажера главного судового дизеля. Создание такого рода тренажеров позволяет заменить реальный объект – судовый дизель – при изучении его систем, грамотного их обслуживания, режимов работы и т.п. [4]. То есть, конечной целью развития модели ТА в этом направлении будет ее применение в учебном процессе в качестве составной части тренажера обслуживания главного судового дизеля.

Таким образом, математическая модель теплообменного аппарата, изначально разработанная для выполнения проектных и поверочных расчетов, приобрела новые свойства, и в новом качестве нашла применение в учебном процессе, а также в имитационном моделировании систем судовой энергетической установки.

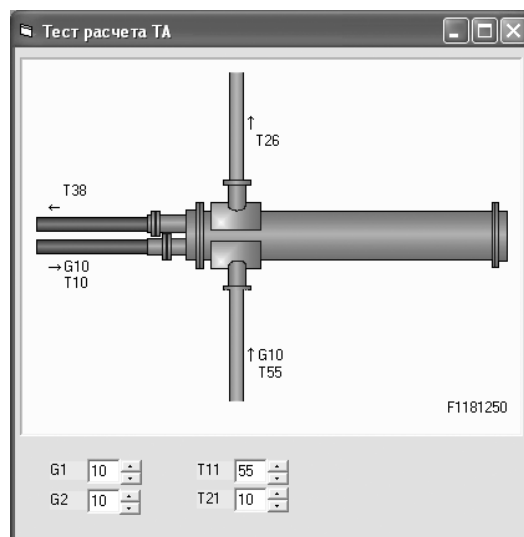


Рисунок 3 – Тестирование компонента HeatExchanger

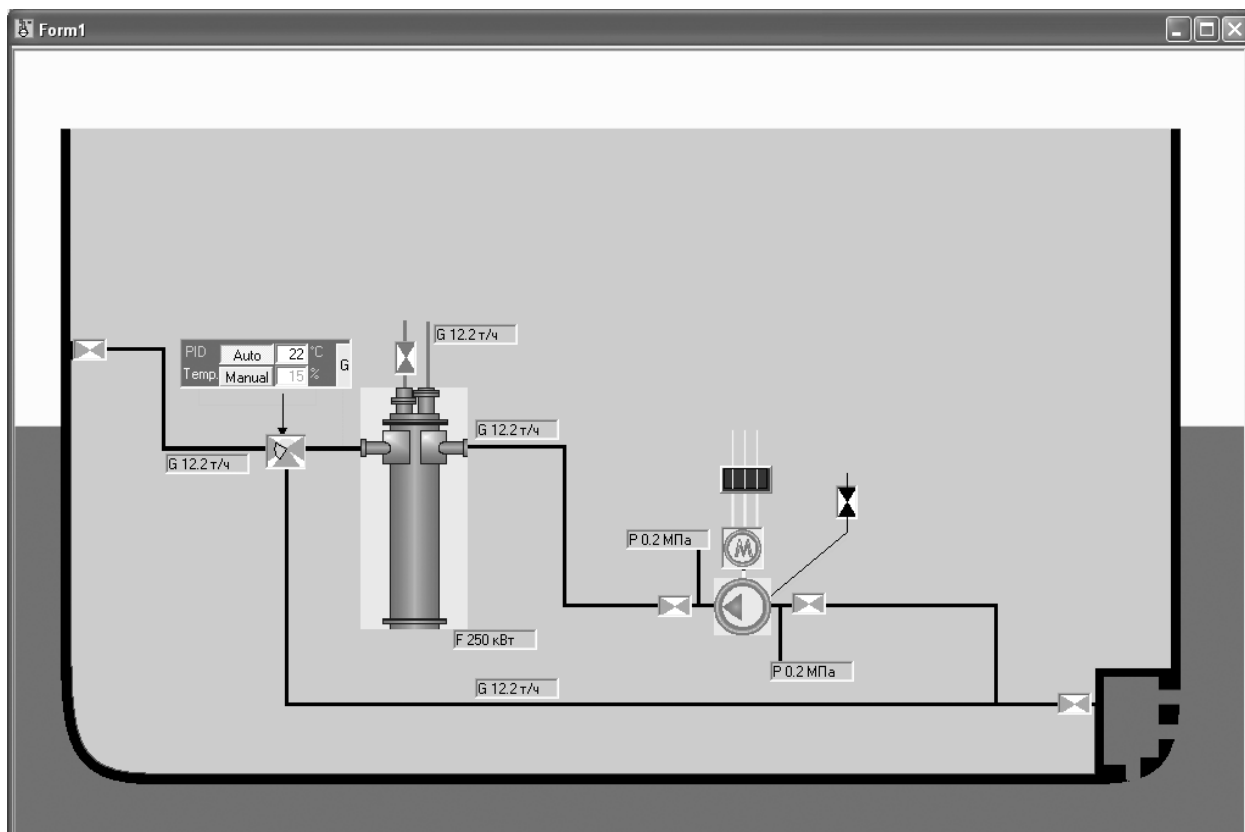


Рисунок 4 – Компонент HeatExchanger в составе имитационной модели системы охлаждения судового дизеля

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Валиулин, С.Н. Математическая модель теплообменного аппарата серии ВВПИ / С.Н. Валиулин, О.П. Шураев // Вестн. Волж. гос. акад. вод. трансп. -Н. Новгород, 2003. - Вып.5: Судовая и пром. энергетика. -С. 149-154.

2 Калинин, Э.К. Интенсификация теплообмена в каналах / Э.К. Калинин, Г.А. Дрейцер, С.А. Ярхо. -М.: Машиностроение, 1990. -200 с.

3 Новые кожухотрубные теплообменные аппараты с улучшенными эксплуатационными характеристиками / С.Н. Валиулин, Н.Н. Бурдастов, В.В. Хуртин, О.В. Пыжов // Новости теплоснабжения. -2004. -№5. -С. 47-49.

4 Марков, К.В. Роль и место тренажерной подготовки в профессиональном обучении судовых инженеров-механиков / К.В. Марков, О.П. Шураев // Вестн. Волж. гос. акад. вод. трансп. -Н. Новгород, 2003. -Вып.5: Судовая и пром. энергетика. -С.146-149.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: теплообменные аппараты, имитационное моделирование, системы судовых дизелей

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Шураев Олег Петрович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВКЛЮЧЕНИЯ ВЫНОСНОГО ПАРООХЛАДИТЕЛЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ПО СЕТЕВОЙ ВОДЕ В КОМПЛЕКСЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

ГОУ ВПО «Читинский государственный университет»

С.А. Иванов, П.Г. Сафронов

EFFICIENCY OF THE CUT-IN STANDING STEAM-COOLING STEAM TURBINE ON NETWORK WATER IN COMPLEX OF THE SITE HEAT PROVISION

«Chita state university»

S.A. Ivanov, P.G. Safronov

Considered possibility of the use standing stem-cooling turbines as source of the heat provision.

Keywords: turbine, steam-cooling, optimization, heater, load, pressure

Рассматривается возможность использования выносного парохладителя турбины в качестве дополнительного источника теплоснабжения.

Оптимизация тепловой схемы хорошо изучена и широко отражена в технической литературе. Можно выделить два этапа оптимизации: оптимизацию тепловой схемы нового блока; оптимизацию существующей тепловой схемы. Улучшение экономических показателей тепловой схемы паротурбинного блока в рыночных условиях весьма актуально. После развала СССР экономика страны претерпела значительные изменения. Упадок промышленности привел к отсутствию на многих станциях промышленного потребителя. Данное обстоятельство снизило экономические показатели станций. Далее будет рассмотрено несколько возможных путей повышения эффективности производства тепловой и электрической энергии на примере Читинской ТЭЦ1.

Принципиальная тепловая схема ПТ-60-90/13 представлена на рисунке 1. Как видно из рисунка схема включения парохладителей стандартна, парохладители включены по питательной воде в каждом ПВД, для вытеснения пара вышестоящего отбора и повышения расхода пара данного отбора.

Охлаждать пар в парохладителе необходимо до температуры выше температуры начала конденсации. Следовательно, отбор, в котором расположен парохладитель, должен располагаться выше теплофикационного, так как теплофикационный отбор большую часть времени работает с влажным паром. Чем выше давление в отборе, тем выше коэффициент недовыработки мощности отбором, однако чем выше давление, тем больше можно охладить пар, так как перегрев по сравнению с насыщенным паром увеличивается к «голове» турбины. Задачу будем рассматривать без учета гидравлического сопротивления сетевого тракта, так как сопротивление измениться не значительно.

При рассмотрении тепловой схемы изображенной на рисунке 1 очевидно, что рассмотрению подлежат третий и четвертый отборы по ходу движения пара. Третий отбор питает промышленного потребителя (при отсутствии такового к нему подключен пиковый сетевой подогреватель), ПВД3 и деаэратор. При охлаждении пара третьего отбора можно выделить следующие преимущества по отношению к четвертому: вытеснения пара поступающего в деаэратор, вследствие чего меньшее количество пара дросселируется; уменьшение пара на деаэратор не вызовет снижения экономичности блока, так как питаются подогреватели от

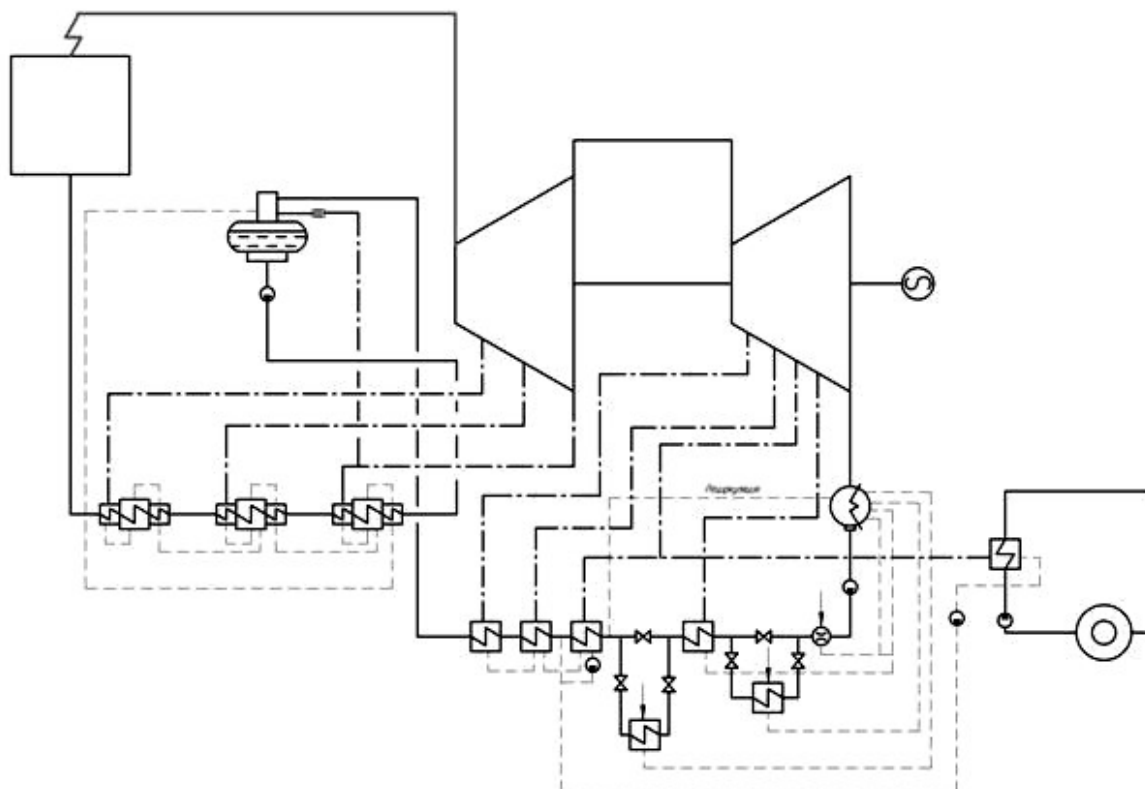


Рисунок 1 – Принципиальная тепловая схема ПТ-60-90

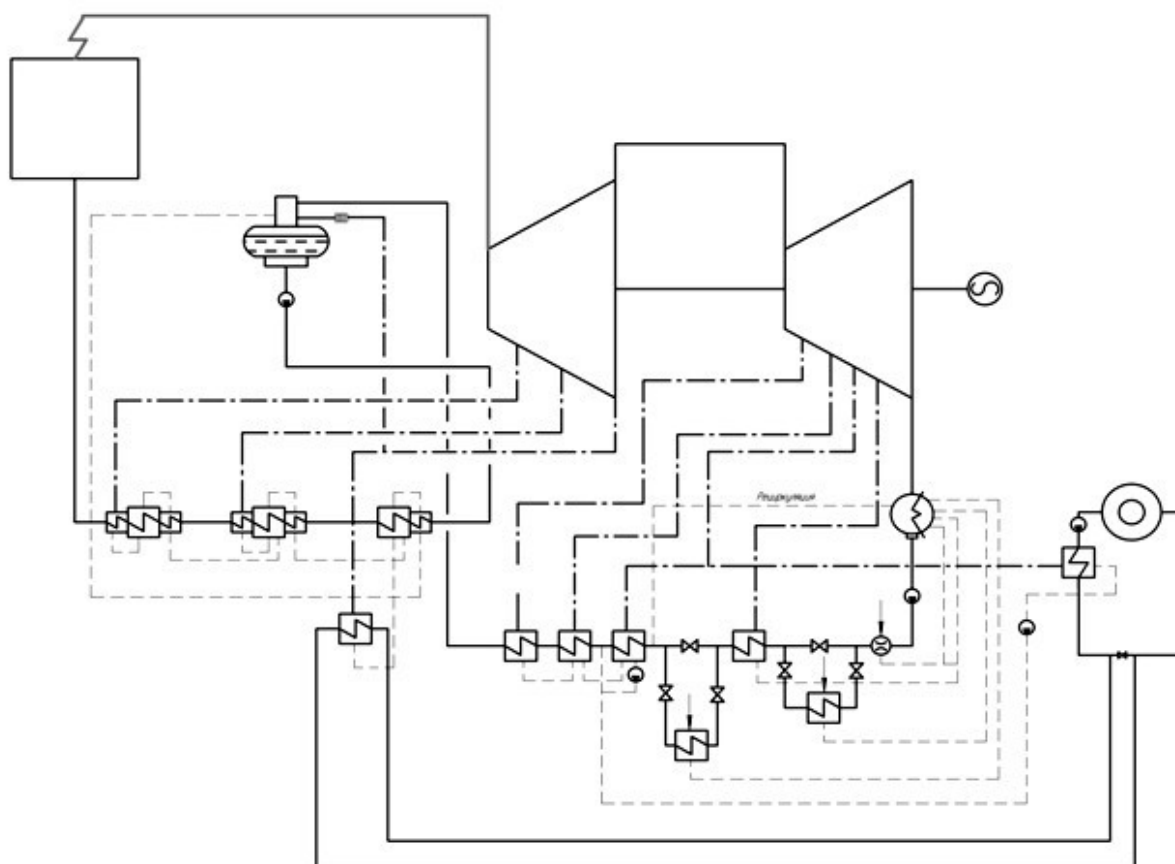


Рисунок 2 – Включение выносного пароохладителя по сетевой воде

одного отбора; возможность снятия большего количества теплоты. Четвертый отбор по сравнению с третьим имеет более низкие параметры, следовательно, увеличение отпуска пара в отбор будет более целесообразно. Существуют значительные минусы обоих отборов, так для третьего отбора является повышение расхода пара во второй отбор менее экономичный по сравнению с третьим, но для четвертого отбора большим минусом является его отключение на широком диапазоне нагрузок.

Регулировать количество поступающей в пароохладитель воды можно путем установки, как дросселирующего устройства, так и применением регулирующих устройств. Очевидным является то, что через пароохладитель будет пропущена только часть сетевой воды. Схема с включением пароохладителя по сетевой воде [1] показана на рисунке 2.

При определении экономичности схемы критерием может быть изменение удельного расхода топлива или тепла на производство электроэнергии. Однако такой критерий в полной мере может служить только при сравнении со схемой комбинированного производства электроэнергии и тепла. Поскольку ТЭЦ является частью комплекса теплоснабжения состоящего из производителя, поставщика и потребителя тепловой энергии, то при сравнении вытеснения тепла производимого мазутными или угольными водогрейными котлами с КПД менее 60 процентов [2] необходимо в качестве критерия использовать экономию денежных средств в абсолютных величинах.

На рисунке 3 изображена схема ПНД с включением пароохладителя по сетевой воде. На рисунке 3а типовое включение ПНД, а на рисунке 3б с выносным пароохладителем. Пароохладитель в теплофикационную установку можно включить, как после сетевого подогревателя, так и перед сетевым подогревателем. При включении перед сетевым подогревателем снижается экономичность турбины, так как вытесняется пар более низких параметров. Однако при дефиците мощности в энергосистеме такое включение может быть оправдано.

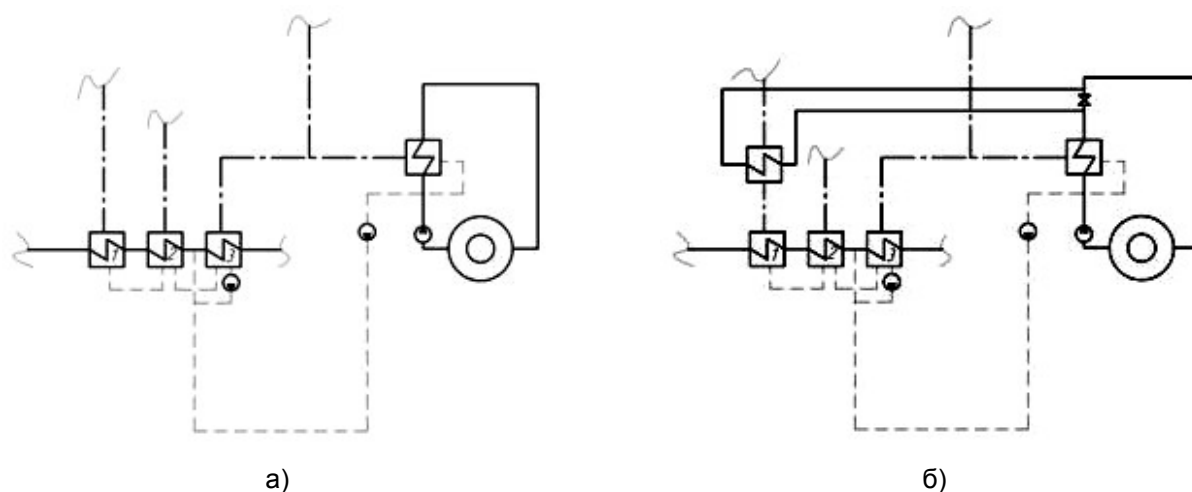


Рисунок 3 – Включение пароохладителя в ПНД и сетевую установку: а)- типовое включение; б)- с выносным пароохладителем

Рассмотрим влияние давления в отборе на увеличение расхода пара в отбор. При рассмотрении схемы примем допущения, что при изменении расхода на подогреватель давление в отборе не изменится и расход питательной воды перед третьим подогревателем не изменится, энтальпии в отборе не зависят от расхода в подогреватель, потерей давления в подогревателях и пароохладителе пренебрежем. Тогда уравнение теплового баланса составит для рисунка 3а

$$\begin{cases} D_1(i_1 - i'_1)\eta = G_{п.с.}(i_{п.с.1} - i_{п.с.2}); \\ [D_2(i_2 - i'_2) + D_1(i'_1 - i'_2)]\eta = G_{п.с.}(i_{п.с.2} - i_{п.с.3}), \end{cases}$$

где D_1, D_2 – расход пара в первый и второй отбор соответственно, кг/с;

i_1, i'_1, i_2, i'_2 – энтальпия пара в отборе и в состоянии насыщения при давлении в подогревателе первого и второго отбора соответственно, кДж/кг;

η – КПД теплообменника.

Уравнения теплового баланса для рисунка 3б

$$\begin{cases} D'_1(i''_1 - i'_1 + \Delta i)\eta = G_{п.с.}(i_{п.с.1} - i_{п.с.2}); \\ [D_2(i_2 - i'_2) + D_1(i'_1 - i'_2)]\eta = G_{п.с.}(i_{п.с.2} - i_{п.с.3}); \\ D_1[i_2 - (i'_2 + \Delta i)]\eta = G_{сет}(i_1 - i_2), \end{cases}$$

где Δi — остаточный перегрев пара, кДж/кг;
 D'_1 — новый расход пара на первый подогреватель, кг/с.

Очевидным является следующее выражение

$$D_1(i_1 - i'_1)\eta = D'_1(i''_1 - i'_1 + \Delta i)\eta.$$

После преобразований получим:

$$k = \frac{D'_1}{D_1} = \frac{(i_1 - i'_1)}{(i''_1 - i'_1 + \Delta i)} \text{ или } k = \frac{D'_1}{D_1} = \frac{r + \Delta i_1}{r + \Delta i},$$

где r — удельная теплота парообразования, кДж/кг.

Из выражения видно, что при увеличении давления в отборе расход пара в отбор будет увеличиваться, кроме того удельная теплота парообразования будет снижаться и поскольку Δi в выражении является величиной постоянной определяемой необходимым остаточным перегревом, находящимся в пределе 10-15 °С [3], то можно сделать вывод, что на увеличение расхода влияют следующие величины: давление в отборе, при его увеличении расход увеличивается; внутренний относительный КПД проточной части до отбора, при его снижении расход увеличивается.

При подключении пароохладителя по схеме, представленной на рисунке 3, для сохранения отбора пара нижестоящего подогревателя на том же уровне необходимо предусмотреть охладитель дренажа. В таком случае снизиться расход пара в отбор с пароохладителем и не снизиться расход на нижестоящий подогреватель. При этом суммарно расход пара увеличиться, и зависеть данное увеличение будет от его параметров в отборе.

В таблице представлены результаты сравнения схем с включенным пароохладителем по сетевой воде отбора ПВДЗ на замещение топлива водогрейного котла. При расчете КПД водогрейного котла принято 0,7, КПД энергетического котла 0,91 расчет велся по условному топливу. За базовый вариант принята стандартная схема отпуска тепла. Снижение температуры теплоносителя от ТЭЦ до котельной при повышении температуры не учитывалась. Расчет тепловой схемы был произведен в [4].

Из таблицы видно, что расход топлива в системе снизился, следует отметить, что топливо у котлов может быть различно, так при сжигании в водогрейных котлах мазута предлагаемая схема более эффективна, чем при сжигании отходов с производства. Следует отметить, что при равенстве КПД энергетического котла и водогрейного схема то же экономична и разница в топливе составит 0,008 кг/с.

Таблица — Техничко-экономические показатели

Наименование	Базовый вариант	Измененный вариант	Разница между базовым и измененным вариантами
Мощность турбины, МВт	50	50	0
Расход пара на турбину, т/ч	246,3	247,16	0,86
Температура после сетевого подогревателя, °С	98,00	98,61	0,61
Температура перед сетевым подогревателем, °С	50	50	0
Количество подведенной теплоты к турбине, МВт	178,025	178,593	0,568
Расход топлива на энергетический котел, кг/с	6,676	6,698	0,021
Температура после водогрейного котла, °С	120	120	0
Мощность водогрейного котла, МВт	27,720	26,946	-0,774
Расход топлива на водогрейный котел, кг/с	1,351	1,314	0,037

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Пат. 91379 Российская Федерация. Тепловая электрическая станция / Иванов С.А., Батухтин А.Г., Сафронов П. Г.

2 Басс, М.С. Упрощенная методика расчета нормативов удельных расходов топлива в отопительных котельных применительно к условиям Забайкальского края / М.С. Басс,

А.Г. Батухтин, С.А. Требунских // Пром. энергетика. -2009. -№9. -С. 3-7.

3 Зорина, В.М. Тепловые и атомные электрические станции: справочник / В.М. Зорина; под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. -3-е изд., перераб. и доп. -М.: Изд-во МЭИ, 2003 - 645 с.: ил. -(Теплоэнергетика и теплотехника; кн.3).

4 Батухтин, А.Г. Программа расчета реальных тепловых схем ТЭС и распределения тепловых и электрических нагрузок между агрегатами «Scheme Calculation»: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2009614236 / А.Г. Батухтин, П.Г. Сафронов, В.А. Мершеева.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: турбина, пароохладитель, оптимизация, подогреватель, нагрузка, давление

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Иванов Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, профессор, первый проректор ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

Сафронов Павел Григорьевич, аспирант ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, 30, ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

РАЗРАБОТКА АДДИТИВНОГО СПОСОБА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕОЛИТОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ОТ КОТЛОВ С ФАКЕЛЬНЫМ СЖИГАНИЕМ ТОПЛИВА

ОАО «Территориальная генерирующая компания №14»
ГОУ ВПО «Читинский государственный университет»

Ю.В. Дорфман, В.В. Пинигин

DEVELOPMENT TOTALING WAY TO USE ZEOLIT FOR REDUCTION BAD SURGE FROM CALDRONS WITH TORCHLIGHTING BY INCINERATION FUEL

«The territorial generating company No.14»

«Chita state university»

Yu.V. Dorfman, V.V. Pinigin

Methods of the reduction bad surge are presented In article from caldrons with torch lighting by incineration fuel with use zeolite of contains sorts east Zabaykaliya. The made motivation of the use zeolite Shivyrtuyskogo place birth.

Keywords: ecology, efficiency, caldron, fuel, zeolite

Представлена методика снижения вредных выбросов от котлов с факельным сжиганием топлива с использованием цеолитсодержащих пород восточного Забайкалья. Произведено обоснование использования цеолита Шивыртуйского месторождения.

Работа по разработке методики, реализующей аддитивный способ применения цеолитов на котлах с факельным сжиганием топлива проводилась в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Госконтракт №02.740.11.0028).

Минерально-сырьевая база Забайкальского края (ЗК) достаточно разнообразна. Одним из распространенных ресурсов ЗК являются цеолитоносные породы. Забайкальский цеолитоносный район, является самым большим на территории бывшего СССР. В районе сосредоточены значительные ресурсы цеолитового сырья (1,5 млрд. т), обеспечивающие ему ведущее место в России, а также среди стран ближнего Зарубежья, и способные покрыть любые потребности по основным направлениям применения. Шивыртуйское месторождение, является самым исследованным по составу и наиболее интенсивно используемое. Оно расположено в пределах Забайкальского края в 15 км севернее станции Даурия.

Основным типом руд Шивыртуйского месторождения является клиноптилолит-монтмориллонитовый. Содержание монтмориллонита достигает 30-40%, что снижает механическую прочность руды, но увеличивает вторичную пористость. В туфах, туффитах в количестве до 15% развиты кварц, кальцит, кристобалит, слюда; присутствуют полевой шпат, хлорит, гипс, органическое вещество, карбонаты, сульфиды. Соотношение второстепенных минералов изменчиво. Запасы и прогнозные ресурсы по месторождению составляют 600 млн. т [1].

Приведенные исследования механизма образования вредных выбросов в котлах и обзор физико-химических свойств цеолитсодержащих пород (ЦП) Забайкалья позволяет сделать следующие выводы:

– механизм образования вредных выбросов и способ функционирования котлов дают

предпосылку использования добавок сорбентов для снижения вредных выбросов серы;

– ЦП Забайкалья пригодны к использованию в качестве присадки при сжигании углей Забайкальских месторождений;

– из всего перечня месторождений ЦП Забайкалья, наиболее оправдано использование цеолита Шивиртуйского месторождения, как обладающего значительными запасами, разрабатываемого и имеющего в своем составе высокотермо и кислотостойкого клиноптолитита.

Аналитическое определение оксидов азота и серы при добавлении цеолитсодержащей породы производилось в два этапа:

1 этап. Расчет образования оксидов азота и серы при разном соотношении уголь-цеолит в топливной смеси без учета сорбционной способности цеолитов.

2 этап. Получение методики для аналитического расчета образования оксидов азота и серы с учетом сорбционной способности природных цеолитов и расчет эмиссии вредных веществ (оксидов серы и азота) при разном соотношении уголь-цеолит в топливной смеси по ней.

Удельные выбросы оксидов азота K_{NO_2} (г/МДж) складываются из топливных $K_{NO_2}^{топл}$ и воздушных $K_{NO_2}^{возд}$ оксидов азота

$$K_{NO_2} = K_{NO_2}^{топл} + K_{NO_2}^{возд}.$$

Удельными выбросами оксидов серы K_{SO_2} (г/МДж) являются топливные $K_{SO_2}^{топл}$ оксиды серы

$$K_{SO_2} = K_{SO_2}^{топл}.$$

Топливные оксиды азота подсчитывают по формуле

$$K_{SO_2}^{топл} = 0,7 N_m \beta_{\alpha T} \beta_{\alpha 1} \beta_r \beta_j \beta_{cm} \beta_{сorb},$$

где $\beta_{сorb}$ – коэффициент, учитывающий сорбционное поглощение оксидов азота цеолитом, добавляемым к топливу,

$$\beta_{сorb} = \frac{18,35}{18,35 + C_{цеол}};$$

N_m – удельное содержание азота в топливе, г/МДж;

$$N_m = 10 \frac{N^p}{Q_H^p}$$

Для расчетов массовых выбросов оксидов азота и серы использовались следующие формулы

$$M_{NO_2} = K_{NO_2} B_p Q_H^p k_n,$$

где B_p – расчетный расход топлива, кг/с;

k_n – коэффициент пересчета, равный: 1 в случае определения массовых выбросов в г/с; 0,001-в случае определения массовых выбросов в т/год.

Топливные оксиды серы определяются по формуле

$$M_{SO_2} = 0,02 B_p S^p (1 - \eta'_{SO_2}) (1 - \eta''_{SO_2}) (1 - \varphi);$$

$$B_p S^p = \frac{7,82 \cdot 10^{-7} C_{цеол}^2 - 5,566 \cdot 10^{-2} C_{цеол} + 4,85}{1 - 1,21 \cdot 10^{-2} C_{цеол}},$$

где φ – доля оксидов серы, поглощаемых молекулами природного цеолита.

Значение φ зависит от концентрации цеолита в топливе и определяется по рисунку 1.

Абсорбционная способность цеолитсодержащих пород Шивиртуйского месторождения была получена на основе серии опытов с различной подачей цеолита на экспериментальной установке, моделирующей работу топки с факельным сжиганием топлива. Измерение содержания SO_2 , NO_x и определение коэффициента избытка воздуха выполнялось газоанализатором TESTO-350. Кроме того, производился отбор топлива и золы с целью определения теплотворной способности, зольности и влажности, а также содержания горючих в уносе. Концентрация цеолита изменялась в диапазоне 0-35%.

Полученные значения массового выброса оксидов азота и серы котлом БКЗ-220-100 с нагрузкой 220 т/ч в зависимости от доли цеолита изображены на рисунке 2.

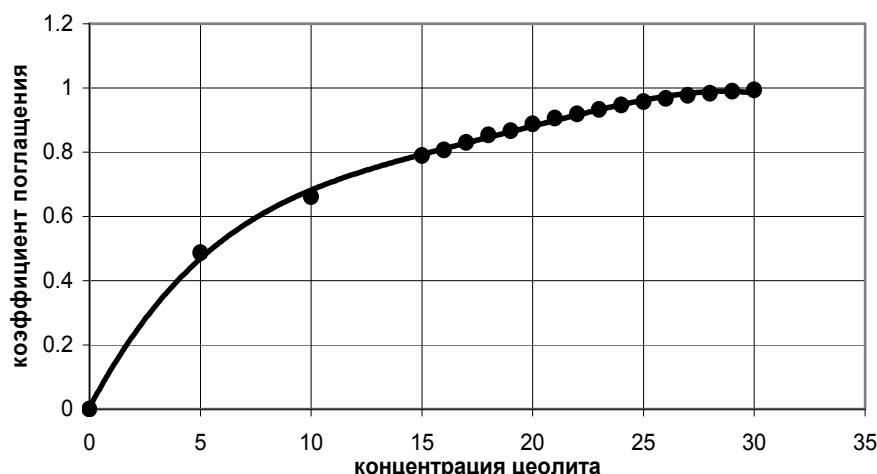


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента поглощения SO_2 цеолитом от концентрации цеолита в топливе $\varphi = f(C_{\text{цеол}})$

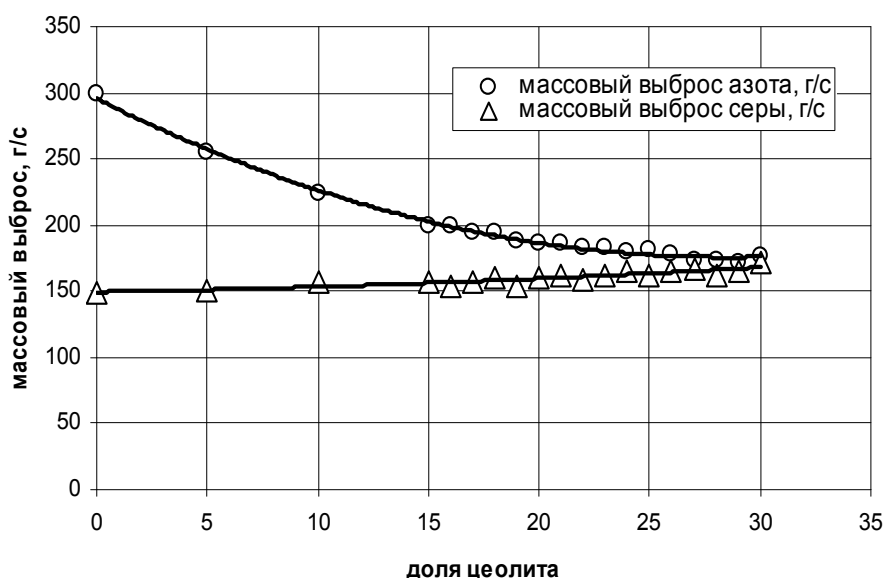


Рисунок 2 – Зависимость массового выброса оксидов серы и азота от концентрации цеолита

Для подтверждения полученных экспериментально-аналитических результатов предполагается произвести промышленные испытания сжигания топлива с присадкой цеолита. Кроме того, необходимо определение технико-экономического эффекта от его внедрения с учетом реальных режимов работы котлов. При этом для определения годовых расходов топлива предполагается использовать методику [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бойцов, В.Е. Цеолиты России / В.Е. Бойцов, И.Г. Абдульманов, И.М. Баюшкин // Горн. вестн. -1997. -№3. -С. 3-7.

2 Басс, М.С. Упрощенная методика расчета нормативов удельных расходов топлива в отопительных котельных применительно к условиям Забайкальского края / М.С. Басс, А.Г. Батухтин, С.А. Требунских // Пром. энергетика. -2009. -№9. -С. 37-41.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экология, эффективность, котел, топливо, цеолит

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дорфман Юрий Валентинович, канд. техн. наук, зам. генерального директора ОАО «ТГК-14»

Пинигин Василий Владимирович, инженер ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 672090, г. Чита, ул. Профсоюзная, 23, ОАО «ТГК-14»

672039, г. Чита, ул. Александрово-Заводская, 30, ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УВЕЛИЧЕНИЯ РАСПОЛАГАЕМОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

ГОУ ВПО «Читинский государственный университет»

А.Г. Батухтин

METHODS OF INCREASING OF EFFICIENCY AND INCREASING OF DISPOSABLE POWER OF CENTRALIZED HEAT SUPPLY SYSTEM

«Chita state university»

A.G. Batuhitin

In article methods of increasing of efficiency and increasing of disposable power of centralized heat supply system are presented. The examples of economic and conditions of heat supply system of Chita, Zabaykalsky Krai are given.

Keywords: optimization, efficiency, centralized heat supply system, solar energy

Представлены методы для повышения эффективности и увеличения располагаемой мощности систем централизованного теплоснабжения. Даются примеры экономического и технического эффектов от применения данных методов для условий системы теплоснабжения города Чита Забайкальского края.

Комплекс теплоснабжения, как правило, состоит из производителя, поставщика, и потребителя тепловой энергии. Экономичность всего комплекса остается низкой, при достаточно совершенном производстве энергии ее распределение, передача и потребление еще требуют совершенствования. Низкая эффективность комплекса теплоснабжения определяет высокую энергоемкость экономики России в целом. Последние заявления первых лиц государства призывают обратить внимание на энергосберегающие технологии. К малозатратным методам энергосбережения можно отнести как оптимизацию режимов работы, схем отпуска и распределения теплоты на источнике теплоснабжения, так и применение современных систем потребления тепловой энергии у потребителей.

Большинство ТЭЦ в своем составе имеют разнотипное энергетическое оборудование и зачастую при определении изменения загрузки турбин пользуются методом относительного прироста удельного расхода топлива. Следует отметить, что в данном случае распределение нагрузки между однотипными агрегатами будет равным, при этом компьютерное моделирование показывает, что такая загрузка отличается от оптимального распределения. При этом нахождение оптимального распределения нагрузок на ТЭЦ является сложной задачей в связи со своей не однозначностью и многомерностью.

Произведенный расчет с использованием [1] и методов оптимизации отпуска теплоты от ТЭЦ потребителю с учетом изменения в течение суток нагрузки горячего водоснабжения (ГВС) и температуры наружного воздуха [2] была рассмотрена на примере системы теплоснабжения микрорайона КСК (г. Читы Забайкальского края) отапливаемого от теплофикационных отборов двух турбин ПТ-60 Читинской ТЭЦ1.

Тепловые нагрузки системы теплоснабжения микрорайона КСК: отопительная нагрузка – 114,674 МВт; нагрузка ГВС – 30,455 МВт.

Отопительные установки всех потребителей тепловой энергии подключены по независимой схеме. Регулирование отпуска теплоты на отопление отсутствует. Установки горячего водоснабжения потребителей тепловой энергии, имеющих нагрузку ГВС, присоединены по двухступенчатой последовательной независимой схеме.

В рассматриваемом районе расположены ряд объектов теплоснабжения принадлежащих к группе административных.

Суммарные тепловые нагрузки административных зданий: отопительная нагрузка – 10,1 МВт; нагрузка ГВС – 0,902 МВт.

Суммарные тепловые нагрузки жилых зданий: отопительная нагрузка – 104,574 МВт; нагрузка ГВС – 29,553 МВт.

Суммарная экономическая выгода за календарный год при применении рассмотренной методики составляет более 3 млн. руб. При этом располагаемая тепловая мощность станции может быть увеличена на 6,1% при сохранении расхода теплоносителя и пропускной способности тепловых сетей, а также выработки электрической энергии.

Обеспечение качественного и энергоэффективного теплоснабжения потребителей тепловой энергии является ее основной задачей. В соответствии с действующими нормами

температура воздуха в помещениях в холодный период года должна иметь определенное значение и не зависит от погодных и временных условий. Однако, в настоящее время повсеместно наблюдается недогрев и перегрев потребителей тепла. Эта проблема ненормативного отпуска присуща практически для всех городов России с централизованным теплоснабжением. Поддержание комфортных температурных условий в помещениях потребителей является первоочередной задачей для систем теплоснабжения, а при общем недоотпуске тепловой энергии не представляется возможным без внедрения современных технологий [2].

Прогрессирующее развитие техники и в том числе электроники способствовало развитию сложных систем автоматического регулирования. Современная система автоматического регулирования (САР) обладает рядом преимуществ, которых было затруднительно добиться в начале прошлого века, когда становилось централизованное теплоснабжение. В настоящее время одним из главных достоинств САР является возможность реализации сложных законов автоматического регулирования, кроме того, в большинство стандартных систем заложена возможность перепрограммирования, то есть, изменения законов регулирования и управления системой. Современные системы автоматического регулирования отпуска тепловой энергии потребителю в централизованных системах теплоснабжения обладают следующими функциями:

- поддержание требуемого температурного графика в подающем и обратном трубопроводах системы теплоснабжения в зависимости от температуры наружного воздуха;
- поддержание заданной температуры воздуха в представительных помещениях;
- поддержание требуемой температуры воды на горячее водоснабжение;
- снижение теплопотребления здания в ночное время и в нерабочие дни;
- ограничение температуры обратной сетевой воды.

Перечисленные функции дают значительную экономию тепловой энергии при теплоснабжении потребителя, на котором устанавливается данная система. Кроме экономии для потребителя системы имеют и дополнительные преимущества и для всей системы. Одним из таких преимуществ является более полное использование потенциала сетевой воды и как следствие снижение температуры обратной сетевой воды после потребителя. Снижение температуры обратной сетевой воды увеличивает долю выработки электроэнергии на базе теплового потребления на ТЭЦ, что увеличивает ее экономичность. Современные системы автоматического регулирования отпуска тепловой энергии потребителю оснащены, как правило, смесительными насосами, которые улучшают циркуляцию в системе отопления потребителя, снижая потребление сетевой воды из теплосети.

Применяя методику [3] возможно определить критические места системы централизованного теплоснабжения, ограничивающие ее располагаемую тепловую мощность и снижающие экономичность. Данные потребители или участки тепловых сетей являются характерными для формирования температурного графика теплосети, поскольку недотапливаются. При этом остальные потребители характеризуются перетопом. Установка на таких потребителях или группах потребителей систем автоматического регулирования позволяет значительно повысить эффективность, а также для увеличить располагаемую мощность системы централизованного теплоснабжения

Оценка применения современных САР для снижения потребления части нагрузок отопления и ГВС на примере системы теплоснабжения города Читы Забайкальского края показала, что при внедрении указанной системы на 10% потребителей дает снижение удельного расхода топлива на 0,013% (только за счет снижения температуры обратной сетевой воды) и увеличение располагаемой мощности систем централизованного теплоснабжения на 1,63%, при сохранении расхода теплоносителя и пропускной способности тепловых сетей.

Новая концепция развития теплоэнергетики России предусматривает повышенные требования к энергосбережению и использованию возобновляемых источников энергии, к числу основных можно отнести энергию солнца [4].

Наиболее эффективным способом использования энергии солнца сегодня является гелионагрев воды с использованием солнечных коллекторов различного типа. Эта технология стала стандартной в солнцееизбыточных регионах Африки, Средней и Юго-Восточной Азии, где солнечная энергетика практически полностью заменяет потребности тепла для горячего водоснабжения (ГВС). Отсутствие широкого применения данной технологии в России связано с заблуждением, что возможность сбора солнечной энергии связана непосредственно с температурой окружающего воздуха. На самом деле возможность сбора солнечной энергии

зависит только от интенсивности солнечного излучения, прозрачности воздуха и продолжительности светового дня [5]. Данное положение дает значительную предпосылку для использования солнечных коллекторов в Забайкальском крае, обладающем значительным количеством безоблачных дней и одной из максимальных величин солнечной активности в России.

В настоящее время разработано значительное количество различных схем использования энергии солнца в системах ГВС и водяного отопления. Отопление помещений теплым воздухом на основе источников теплоты различных типов позволяет во многих случаях значительно уменьшить капитальные затраты и эксплуатационные расходы. Применение гелионагрева с использованием солнечных коллекторов различного типа в системах воздушного отопления позволит значительно повысить эффективность таких систем, а также увеличит степень замещения традиционных источников теплоты. В таких системах нагревается, в зависимости от температурного режима, вода или воздух, либо осуществляется совместный нагрев воды для нужд ГВС и воздуха для отопления. Поскольку наша конечная задача – нагрев воздуха в помещении, то именно такие комплексы позволяют достичь максимальной эффективности, исключив все промежуточные процессы и преобразования. В качестве источника тепла они могут использовать как тепло сгораемого топлива, так и теплоту, получаемую солнечными коллекторами.

Универсальность систем обуславливает широкую сферу их применения, от дома коттеджного типа до гигантских промышленных помещений и тепличных комплексов.

К преимуществам воздушного отопления можно отнести [6]:

- экономичность (тепло подается непосредственно в нагреваемое помещение);
- улучшение условий нахождения в помещениях, так как нагрев воздуха на 40-70 °C вполне достаточен для приточной вентиляции;
- малая инерционность, поскольку система воздушного отопления позволяет полностью прогреть помещение за 1,5-2 ч;
- отсутствие промежуточного теплоносителя, что позволит отказаться от строительства водяного отопления. В зимнее время исключается риск размораживания системы;
- высокая степень автоматизации позволяет вырабатывать тепло ровно по потребности.

Большинство преимуществ данной схемы возможно только при использовании в солнечных коллекторах незамерзающих жидкостей. Нагрев воздуха можно производить как в промежуточном теплообменнике от жидкости, нагретой в коллекторе, так и непосредственно в нем.

Оценка применения гелиовоздушного отопления для вытеснения части нагрузок вентиляции и ГВС на примере системы теплоснабжения города Читы Забайкальского края показала, что при внедрении указанной системы на 10% потребителей дает снижение расхода топлива на 1,44% и увеличение располагаемой мощности систем централизованного теплоснабжения на 1,63%, при сохранении расхода теплоносителя и пропускной способности тепловых сетей.

Работа по разработке схемы повышения эффективности совместной работы установок гелиоотопления и систем централизованного теплоснабжения проводилась в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Батухтин, А.Г. Программа расчета реальных тепловых схем ТЭС и распределения тепловых и электрических нагрузок между агрегатами «Scheme Calculation»: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2009614236 / А.Г. Батухтин, П.Г. Сафронов, В.А. Мершеева.

2 Батухтин, А.Г. Методы повышения эффективности функционирования современных систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии / А.Г. Батухтин, М.С. Басс, С.Г. Батухтин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№2. - С. 199-202.

3 Батухтин, А.Г. Оптимизация отпуска теплоты от ТЭЦ на основе математического моделирования с учетом функционирования различных типов потребителей: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Батухтин А.Г. -Улан-Удэ: ВСГТУ, 2005. -16 с.

4 Бутузов, В.А. Солнечное теплоснабжение: состояние дел и перспективы развития / В.А. Бутузов // Энергосбережение. -М., 2000. -№4. -С. 28-30.

5 Энергосбережение в теплоснабжении: альтернативные технологии в действии уже сегодня // Энергосбережение. -М., 2008. -№7. -С. 66-69.

6 Альтернатива котельным есть! Отопление теплым воздухом // Энергосбережение и проблемы энергетики Запад. Урала. -Пермь, 2008, -№1/2(36). -С. 54-57.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оптимизация, эффективность, система централизованного теплоснабжения, энергия солнца

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Батухтин Андрей Геннадьевич, канд. техн. наук, директор технико-внедренческого парка ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 672039, г. Чита, ул. Александрово-Заводская, 30, ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

МЕТОД КВАЗИКООРДИНАТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОГО КОЛЕСНОГО СРЕДСТВА С УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

Т.И. Тарнопольская

METHOD OF QUASICOORDINATES IN THE DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF A VEHICLE WITH ELASTIC WHEELS AND SUSPENSION

«Volga state academy of water transport»

T.I. Tarnopolskaya

In this article the mathematical model of a vehicle with elastic wheels and suspension is considered. To describe the model of a vehicle used a method of quasicoordinates. As a result we can avoid an intricate differential equations system.

Keywords: a method of quasicoordinates, mathematical model, a vehicle, elastic wheels, elastic suspension, Lagrange equation

Представлена математическая модель транспортного средства с упругими колесами и подвеской. Для описания модели автомобиля применен метод квазиординат. Такая постановка позволяет отказаться от громоздкой системы дифференциальных уравнений.

Рассмотрим колебания транспортного колёсного средства в продольно-вертикальной плоскости. Модель включает подрессоренную массу m_n и две неподрессоренные массы m_1 и m_2 . Подрессоренная масса состоит из масс с вторичным подрессориванием (двигатель, сидения и т.д.), неподрессоренные массы объединяют массу левого и правого колес, каждой из осей. Связь между составляющими математической модели производится с помощью упругого элемента жесткостью $2C_{pi}$ и амортизатором с коэффициентом сопротивления $2k_{ai}$. Жесткость шины имитируется пружиной, опирающейся одной точкой на опорную поверхность.

Для составления дифференциальных уравнений движения применяем метод квазиординат [1]. Скорость $\omega = \dot{\vartheta}$ является реальной (истинной), а курсовой угол ϑ - голономная координата:

$$\begin{cases} V = \dot{x} \cdot \cos \vartheta + \dot{y} \cdot \sin \vartheta; \\ U = -\dot{x} \cdot \sin \vartheta + \dot{y} \cdot \cos \vartheta. \end{cases} \quad (1)$$

С помощью перехода к квазиординатам в теореме об изменении главного вектора $\bar{K}$ и главного момента $\bar{L}$ количества движения, разделяем переменные в исходной динамической системе на две, последовательно интегрируемые подсистемы меньшей размерности [2]:

$$\begin{cases} \bar{K} = \text{grad}_{\bar{V}} T; \quad \left\{ K_i = \partial T / \partial V_i; \right. \\ \bar{L} = \text{grad}_{\bar{\omega}} T; \quad \left\{ L_i = \partial T / \partial \omega_i; \right. \end{cases} \quad (i = 1, n), \quad (2)$$

где n — количество звеньев системы;
 $\bar{V}$ — вектор абсолютной скорости;
 $\bar{\omega}$ — вектор абсолютной угловой скорости;
 $\bar{F}$ — главный вектор активных сил;
 $\bar{M}$ — главный момент активных сил.

Запишем теорему в дифференциальной форме (подвижная система):

$$\frac{d\bar{K}}{dt} + \bar{\omega} \times \bar{K} = \bar{F}; \quad \frac{d\bar{L}}{dt} + \bar{\omega} \times \bar{L} + \bar{V} \times \bar{K} = \bar{M}. \quad (3)$$

В развернутом виде имеем:

$$\frac{d\bar{K}}{dt} + \bar{\omega} \times \bar{K} = \bar{i}_o \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial V} + \bar{j}_o \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial U} + \begin{vmatrix} \bar{i}_o & \bar{j}_o & \bar{k}_o \\ 0 & 0 & \dot{\vartheta} \\ \frac{\partial T}{\partial V} & \frac{\partial T}{\partial U} & 0 \end{vmatrix} = \bar{i}_o F_x + \bar{j}_o F_y; \quad (4)$$

$$\frac{d\bar{L}}{dt} + \bar{\omega} \times \bar{L} + (\bar{i}_o \cdot \bar{V} + \bar{j}_o \cdot \bar{U}) \times \bar{K} = \bar{k}_o \cdot \bar{M}_g.$$

При замене F_x, F_y на проекции главного вектора горизонтальных реакций полотна дороги $\bar{F}$ (на подвижные оси x_o, y_o) – F_{x_o}, F_{y_o} момент обобщенных сил по голономной координате $\vartheta: M_g = \text{mom}_{\text{Czo}} \bar{F}$. Получим проекции уравнения (4) на подвижные оси:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial V} - \omega \frac{\partial T}{\partial U} &= F_{x_o}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial U} + \omega \frac{\partial T}{\partial V} &= F_{y_o}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \omega} - U \frac{\partial T}{\partial V} + V \frac{\partial T}{\partial U} &= M_g. \end{aligned} \quad (5)$$

Как видно на рисунке 1 силы, действующие на поддрессорные m_n и неподдрессорные m_i массы, обусловлены относительными перемещениями и скоростями (относительные перемещения формируют потенциальные упругие силы, относительные скорости – диссипативные силы).

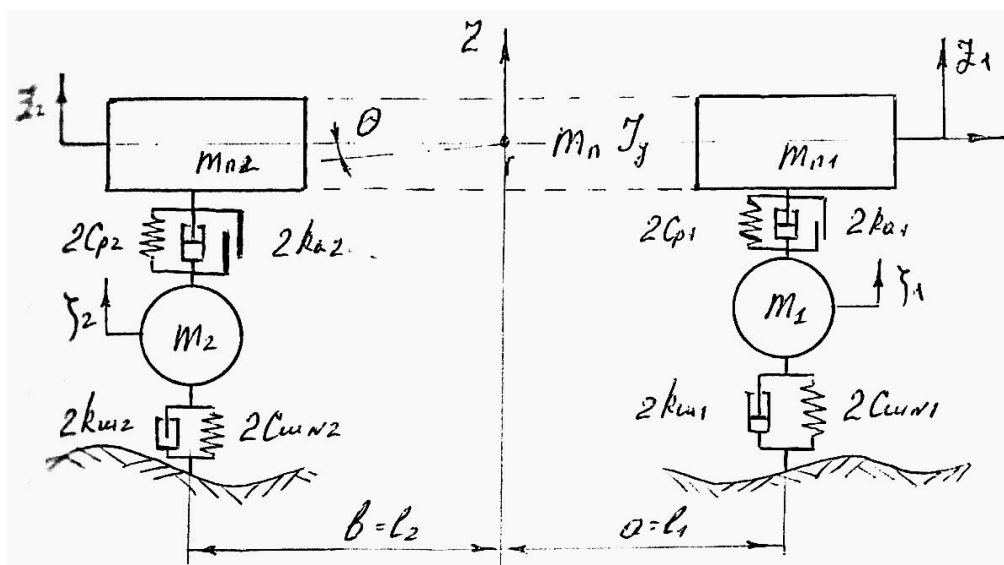


Рисунок 1 – Силы, действующие на поддрессорные и неподдрессорные массы

Вертикальные и угловые колебания представленной системы опишем, используя уравнения Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial \phi_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial \phi_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \phi_i} = Q_i, \quad (6)$$

где T, Π – кинетическая и потенциальная энергии системы;

Φ – диссипативная функция (функция рассеивания энергии), которая характеризует затраты энергии под действием сил сопротивления;

ϕ_i, Q_i – обобщенная координата и обобщенная сила, соответствующая данной обобщенной координате ($Q_i = 0$, так как на систему не действуют силы, кроме тех, которые связаны с изменением T, Π и Φ).

Обобщенные координаты в нашем случае – вертикальные перемещения центра подвесных масс z_o и колес ξ_1 и ξ_2 , и угол наклона корпуса в вертикальной плоскости θ (см. рисунок 1) [3].

Составляющие уравнения Лагранжа можно записать в следующем виде:

– кинетическая энергия

$$T = \frac{1}{2} \left(m_n \dot{z}_o^2 + J_y \dot{\theta}^2 + \sum_{i=1}^2 m_i \dot{\xi}_i^2 \right); \quad (7)$$

– потенциальная энергия

$$\Pi = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^2 2C_{pi} (\xi_i - z_o - \theta l_i)^2 + \sum_{i=1}^2 2C_{wi} (q_i - \xi_i)^2 \right]; \quad (8)$$

– диссипативная функция

$$\Phi = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^2 2k_{ai} (\dot{\xi}_i - \dot{z}_o - \dot{\theta} l_i)^2 + \sum_{i=1}^2 2k_{wi} (\dot{q}_i - \dot{\xi}_i)^2 \right]. \quad (9)$$

Дифференцируя их по обобщенным координатам, получим:

– для кинетической энергии

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{z}_o} \right) = m_n \ddot{z}_o; \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} \right) = J_y \ddot{\theta}; \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\xi}_i} \right) = m_i \ddot{\xi}_i; \end{cases} \quad (10)$$

– для потенциальной энергии

$$\begin{cases} \frac{\partial \Pi}{\partial z_o} = - \sum_{i=1}^2 2C_{pi} (\xi_i - z_o - \theta l_i); \\ \frac{\partial \Pi}{\partial \theta} = - \sum_{i=1}^2 2C_{pi} (\xi_i - z_o - \theta l_i) l_i; \\ \frac{\partial \Pi}{\partial \xi_i} = 2C_{pi} (\xi_i - z_o - \theta l_i) - 2C_{wi} (q_i - \xi_i); \end{cases} \quad (11)$$

– для диссипативной функции

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{z}_o} = - \sum_{i=1}^2 2k_{ai} (\dot{\xi}_i - \dot{z}_o - \dot{\theta} l_i); \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\theta}} = - \sum_{i=1}^2 2k_{ai} (\dot{\xi}_i - \dot{z}_o - \dot{\theta} l_i) l_i; \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\xi}_i} = 2k_{ai} (\dot{\xi}_i - \dot{z}_o - \dot{\theta} l_i) - 2k_{wi} (\dot{q}_i - \dot{\xi}_i). \end{cases} \quad (12)$$

Подставив выражения (10)-(12) в уравнение Лагранжа (6), получим следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\left\{ m_n \ddot{z}_o + \sum_{i=1}^2 2k_{ai} (\dot{z}_o + \dot{\theta} l_i - \dot{\xi}_i) + \sum_{i=1}^2 2C_{pi} (z_o + \theta l_i - \xi_i) = 0; \right. \quad (13)$$

$$\left\{ J_y \ddot{\theta} + \sum_{i=1}^2 2k_{ai} (\dot{z}_o + \dot{\theta} l_i - \dot{\xi}_i) \cdot l_i + \sum_{i=1}^2 2C_{pi} (z_o + \theta l_i - \xi_i) \cdot l_i = 0; \right. \quad (14)$$

$$\left\{ m_i \ddot{\xi}_i + 2(k_{ai} + k_{wi}) \dot{\xi}_i + 2(C_{pi} + C_{wi}) \xi_i + k_{ai} (\dot{z}_o + \dot{\theta} l_i) - 2C_{pi} (z_o + \theta l_i) = 2k_{wi} \dot{q}_i + 2C_{wi} q_i; i = 1, 2, \right. \quad (15)$$

где m_i – неподвесная масса оси (пары колес);

C_p, C_w, k_a, k_w – соответствующие коэффициенты каждого колеса, а $2C_p, 2k_a$ – оси.

Все колебания связаны между собой это видно из системы линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами (13)-(15).

Правая часть последнего уравнения системы (9) представляет собой силы, которые являются следствием кинематического возбуждения со стороны дороги, формируемого за счет движения автомобиля по неровностям (микропрофилю дорожной поверхности)

$$Q_i = 2k_{\text{ш}} \dot{q}_i + 2C_{\text{ш}} q_i.$$

Представленная модель двухосного автомобиля (рисунок 1) позволяет оценить плавность хода. Большой интерес выявление связи между вертикальными колебаниями кузова над передней и задней осью, то есть между координатами z_1 и z_2 . Выразим эти координаты через переменную z_0 и θ [4]:

$$\begin{cases} z_1 = z_0 + \theta \cdot a; \\ z_2 = z_0 - \theta \cdot b, \end{cases}$$

с другой стороны

$$\begin{cases} \theta = \frac{z_1 - z_2}{L}; \\ z_0 = \frac{z_1 b + z_2 a}{L}, \end{cases} \quad (16)$$

где a – расстояние от передней оси до проекции центра масс автомобиля, $a = l_1$;

b – расстояние от задней оси до проекции центра масс автомобиля, $b = l_2$.

Учитывая, что $L = a + b$, проведем преобразование уравнений (13) и (14). Дополнительно введем соотношение между координатами a и b центра подрессоренных масс и радиусом инерции ρ , коэффициент распределения подрессоренных масс

$$\varepsilon_y = \frac{\rho^2}{(ab)^2};$$

$$\ddot{z}_1 \frac{b^2 + \rho^2}{L^2} m_n + 2k_{a1} \dot{z}_1 + 2C_{p1} z_1 + \ddot{z}_2 \frac{ab - \rho^2}{L^2} m_n - 2k_{a1} \dot{\xi}_1 - 2C_{p1} \xi_1 = 0. \quad (17)$$

После дальнейших преобразований:

$$\ddot{z}_2 \frac{a^2 + \rho^2}{L^2} m_n + 2k_{a2} \dot{z}_2 + 2C_{p2} z_2 + \ddot{z}_1 \frac{ab - \rho^2}{L^2} m_n - 2k_{a2} \dot{\xi}_2 - 2C_{p2} \xi_2 = 0. \quad (18)$$

Если расстояния между центром масс и осями одинаковы, то $\varepsilon_y = 1$, то есть $\rho = ab$, система дифференциальных уравнений (13)-(14) раскладывается на две двухмассовые системы: первую с координатами z_1, ξ_1 и вторую с координатами z_2, ξ_2 . Это упрощает исследования колебаний и расчет системы подрессоренных масс двухосных автомобилей. Коэффициенты при $\ddot{z}_1$ и $\ddot{z}_2$ приобретают физический смысл – они равны частям подрессоренной массы, которые приходятся на соответствующие оси (приведенные подрессоренные массы):

– для передней оси

$$m_{n_1} = m_n \frac{b}{L};$$

– для задней оси

$$m_{n_2} = m_n \frac{a}{L}.$$

Компоновочные характеристики современных легковых автомобилей таковы, что для плавности хода условие $\varepsilon_y = 1$ ($\rho = ab$) выполняется с отклонением не более 10%. Тогда уравнения колебаний могут быть записаны в общем виде следующим образом:

$$\begin{cases} \ddot{z}_i + a_{11i} \dot{z}_i + a_{12i} z_i - a_{13i} \dot{\xi}_i - a_{14i} \xi_i = 0; \\ \ddot{\xi}_i - a_{21i} \dot{z}_i - a_{22i} z_i + a_{23i} \dot{\xi}_i + a_{24i} \xi_i = Q_{qi} / m_i; i = 1, 2, \end{cases} \quad (19)$$

$$a_{11i} = \frac{2k_{ai}}{m_{ni}}; a_{12i} = \frac{2C_{pi}}{m_{ni}}; a_{13i} = \frac{2k_{wi}}{m_{ni}}; a_{14i} = \frac{2C_{wi}}{m_{ni}};$$

$$a_{21i} = \frac{2k_{ai}}{m_i}; a_{22i} = \frac{2C_{pi}}{m_i}; a_{23i} = \frac{2(k_{ai} + k_{wi})}{m_i}; a_{24i} = \frac{2(C_{pi} + C_{wi})}{m_i}.$$

Системы дифференциальных уравнений (19), описывают колебания большинства двухосных машин. Ускорения корпуса характеризуют плавность хода, а значит комфортность пребывания водителя и пассажиров в транспортном средстве, их исследование позволяет оценить допустимые значения вибрации. Знание перемещений колес необходимо для решения задач, связанных с оценкой устойчивости, управляемости и прочности ходовой части автомобиля и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лобас, Л.Г. Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин / Л.Г. Лобас, В.Г. Вербицкий. -Киев: Наук. думка, 1990. -232 с.
- 2 Колебания автомобиля. Испытания и исследования / под ред. Я.М. Певзнера. -М.: Машиностроение, 1999. -208 с.
- 3 Тарнопольская, Т.И. Влияние неровностей опорной поверхности на динамику поведения колесных транспортных средств / Т.И. Тарнопольская, В.С. Шеремет // Труды научно-технической конференции ЛИИ. -Луцк, 1994. -С. 28-33.
- 4 Тарнопольская, Т.И. Математическая модель автомобиля с упругими связями / Т.И. Тарнопольская // Вестн. ВГАВТ. -Н. Новгород, 2007. -Вып.22. -С. 176-181.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** метод квазиординат, математическая модель, транспортное средство, упругие колеса, упругая подвеска, уравнение Лагранжа
- СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Тарнопольская Татьяна Ивановна, канд. техн. наук, и.о. доцента ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»
- ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ЗАРЯДА ДИЗЕЛЯ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.В. Бастерс, Б.О. Лебедев

PROBE OF MOVEMENT OF AN AIR CHARGE OF A DIESEL ENGINE BY A NUMERICAL METHOD
«Novosibirsk state academy of water transport»
A.V. Basters, B.O. Lebedev

Studying of aerodynamics of an air charge in the course of filling of the cylinder for the purpose of working out of more reliable recommendations is executed according to high-speed fields in the beginning of a timing period of compression.

Keywords: air charge, cylinder filling, compression timing period, field of speeds

Выполнено изучение аэродинамики воздушного заряда в процессе наполнения цилиндра с целью разработки более надежных рекомендаций по оценке скоростных полей в начале такта сжатия.

В работах [1-3] было проведено исследование процесса вихревого движения воздушно-го заряда (ВЗ) в цилиндре двигателя на такте сжатия. При этом считалось, что распределение скоростей движения по исследуемому объему в начальной стадии процесса (момент закрытия впускного клапана) подчиняется закономерностям квазитвердого тела. В действительности во время впуска происходят более сложные аэродинамические процессы, а они во многом определяют всю дальнейшую динамику вихревого движения. Основная задача данной работы – изучение аэродинамики воздушного заряда в процессе наполнения цилиндра с целью разработки более надежных рекомендаций по оценке скоростных полей в начале такта сжатия.

Процесс формирования закрученного воздушного потока в цилиндре дизеля представляет собой совокупность следующих аэродинамических явлений, развивающихся во впускных органах и в объеме цилиндра:

- нестационарное движение воздушных масс во впускном тракте двигателя;
- взаимодействие воздушного потока с конструктивными элементами впускного механизма, посредством которых осуществляется формирование закрутки;
- взаимодействие входящего потока с воздушными массами, уже находящимися в цилиндре;
- взаимодействие воздушного заряда со стенками цилиндра и поверхностями движущегося поршня и крышки цилиндра.

Первые три этапа относятся в основном к области формирования вихревого движения. Ввиду чрезвычайной сложности аэродинамических процессов, которые здесь протекают, изучение их пока возможно лишь на эмпирической или полуэмпирической основе. Скоростные поля, возникающие на последнем этапе, могут быть исследованы численным путем на базе общих уравнений движения. Учитывая сказанное, разобьем внутрицилиндровую об-

ласть на два объема (рисунок 1): «А», «Б» - соответственно области формирования и основного вихревого движения.

В дальнейшем под областями «А» и «Б» будем понимать объемы цилиндра, находящиеся соответственно выше и ниже плоскости S (см. рисунок 1). Последнюю расположим в нижней части объема сжатия V_c (объем между крышкой цилиндра и верхней мертвой точкой), который имеет сравнительно простой оптический доступ.

Благодаря этому здесь можно исследовать поля скорости движения экспериментальным путем. Область «В» — это сумма объемов $V_h + V'_c$, где V_h - рабочий объем цилиндра (объем между ВМТ и НМТ); V'_c - часть пространства сжатия между ВМТ и плоскостью S . В объеме «В» оптический, а также и другие виды доступа весьма затруднены. Однако, как было отмечено ранее, в этой области имеется возможность численного исследования аэродинамики ВЗ.

Таким образом, анализ динамики закрученного воздушно-го потока в цилиндре двигателя в процессе наполнения может быть осуществлен посредством последовательного рассмотрения двух задач: экспериментально-теоретического изучения поля скорости в плоскости S и численного исследования движения заряда в области «Б». При этом результаты решения первой задачи дают исходный материал для решения второй.

Экспериментально-теоретическое исследование скоростей движения в плоскости S осуществлялось в следующей последовательности. Сначала посредством специального анализа процесса формирования закрученного потока в цилиндре двигателя [4] получено соотношение

$$U(r,t) = C(r,t) \left[2 \cdot 10^{-2} \pi^5 b^2 \cos \alpha \frac{S_{\phi^2}}{S_0} \frac{D^2}{D^2 - Dd} \left(1 + \frac{\Omega}{\Omega + 1} \right) + \pi b \cos \alpha \frac{d}{D - d} \left(\pi - \frac{b^2}{2} \right) \right], \quad (1)$$

где $C(r,t)$ – функция, отражающая зависимость движения от конструктивных параметров системы впуска и закона подъема клапана;

d – диаметр клапана;

D – диаметр цилиндра;

b – отношение d/D ;

α – угол фаски клапана;

S_{ϕ^2} – длина окружности открытой части впускного клапана;

S_0 – длина окружности впускного клапана;

Ω – вихревое отношение (по данным статических продувок).

Оценка величины $C(r,t)$ проведена экспериментально применительно к двигателю Ч8,5/11 методом лазерной доплеровской анемометрии (ЛДА) [5]. На рисунке 2 в качестве примера приведены наиболее характерные данные по радиальному распределению окружных скоростей соответственно для тактов наполнения и сжатия.

Расчетная обработка экспериментальных результатов позволила аппроксимировать функционал $C(r,t)$ матричным способом

$$C(r,t) = \begin{pmatrix} C_{1,1} & \dots & C_{1,11} \\ \dots & \dots & \dots \\ C_{5,1} & \dots & C_{5,11} \end{pmatrix} \left[1 + 0,136 \left(\frac{n}{100} - 3,2 \right) \right] \left[1 + 0,27(\Omega - 2) \right]. \quad (2)$$

Здесь первый индекс характеризует временной интервал (36° , 72° , 108° , 144° , 180° поворота коленчатого вала ($^\circ$ ПКВ) от верхней мертвой точки соответственно; второй индекс соответствует перемещению по радиусу: 1-ось вращения, ..., 11-стенка цилиндра; n - частота вращения коленчатого вала.

Получив распределение скоростей движения ВЗ в плоскости S , сформулируем общую

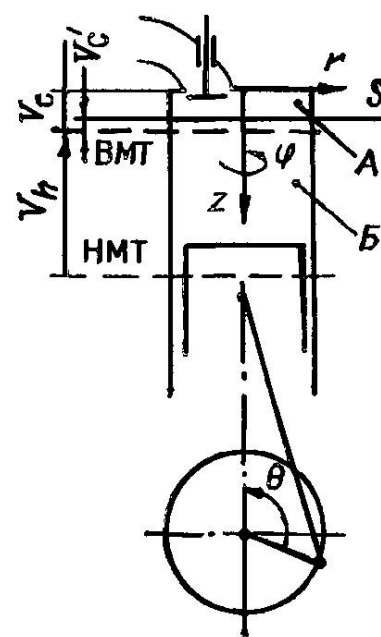


Рисунок 1 – Разбивка внутрицилиндрового объема на две области «А», «Б»

постановку задачи численного исследования аэродинамики закрученного потока в объеме «Б». Очевидно, что локальная структура и амплитудные характеристики движения в данной области будут зависеть от исходной структуры вихря (плоскость S), закономерностей перемещения поршня $S_k(t)$, а также от геометрических и рабочих (частота вращения коленчатого вала, давление наддува и др.) параметров двигателя.

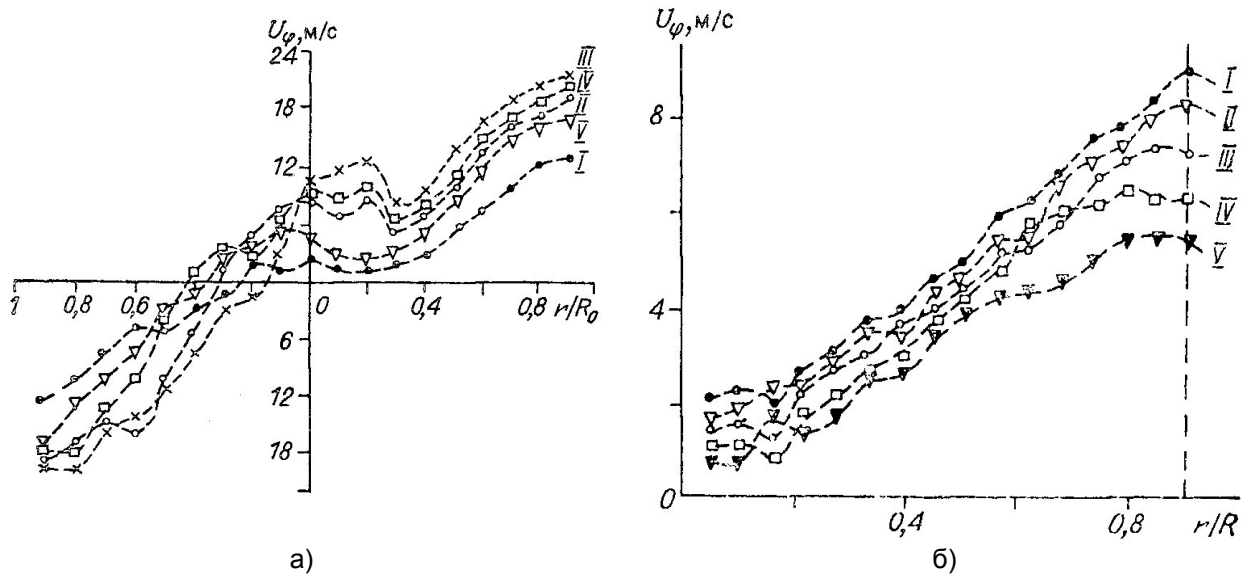


Рисунок 2 – Поле тангенциальных скоростей движения вдоль оси r/R (где R – радиус цилиндра): а) – при наполнении; б) – при сжатии

Будем полагать известными все размеры цилиндра, рабочие параметры двигателя, $S_k(t)$. Считаем, что на внутренней поверхности цилиндра и днища поршня в течение всего процесса наполнения в силу существенной вязкости ВЗ выполняется условие прилипания.

В результате анализа уравнений Рейнольдса с помощью методов теории размерностей и асимптотических разложений в [6, 7] получена модельная система уравнений, позволяющая описать динамику движения ВЗ в области основного движения с учетом влияния движения поршня. После ряда преобразований эту систему можно привести к виду:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{dS_k(t)}{L + S_k(t)} \frac{\partial U}{\partial x} = \frac{1}{L + S_k(t)} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left[E \frac{1}{L + S_k(t)} \frac{\partial U}{\partial x} \right] + \frac{1}{R^2} \frac{\partial}{\partial y} \left[E \frac{\partial U}{\partial y} \right] + \frac{E}{R^2} \left(\frac{1}{y} \frac{\partial U}{\partial y} - \frac{U}{y^2} \right); \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial t} + \frac{dS_k(t)}{dt} + \frac{x+1}{L + S_k(t)} \frac{\partial}{\partial x} \left[E \frac{1}{L + S_k(t)} \frac{\partial W}{\partial x} \right] = \\ = \frac{1}{R^2} \frac{\partial}{\partial y} \left(E \frac{\partial W}{\partial y} \right) + \frac{E}{R^2} \left(\frac{1}{y} \frac{\partial W}{\partial y} - \frac{W}{y^2} \right) + \frac{E}{L + S_k(t)} \frac{1}{R_y} \cdot \frac{\partial U}{\partial y} - \frac{N}{R} \left(\frac{\partial V}{y} + \frac{V}{y} \right); \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{dS_k(t)}{dt} \frac{x+1}{L + S_k(t)} \frac{\partial N}{\partial x} = \\ = \frac{1}{L + S_k(t)} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left[E \frac{1}{L + S_k(t)} \frac{\partial N}{\partial x} \right] + \frac{1}{R^2} \frac{\partial}{\partial y} \left(E \frac{\partial N}{\partial y} \right) + \frac{E}{R^2} \left(\frac{1}{y} \frac{\partial N}{\partial y} - \frac{N}{y^2} \right) + \frac{2}{R_y} VW + \frac{1}{yR} U^2; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\frac{1}{L + S_k(t)} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{R} \frac{\partial N}{\partial y} + \frac{N}{R_y} = 0; \quad (5)$$

$$x = \frac{x_i + S_k(t)}{L + S_k(t)}; \quad z_1 = \frac{V_c}{F}; \quad L = \frac{V_h}{F},$$

где y – безразмерные координаты, $y = r/R$;

$U, W(x, y, t)$ – тангенциальные компоненты скорости нулевого и первого порядков приближений соответственно;

$N(x, y, t)$ – радиальная скорость;

$V(x, y, t)$ – осевая скорость;

E – коэффициент эффективной вязкости;

F – площадь поршня.

Сформулируем к полученной системе уравнений соответствующие условия однозначности. Начальные условия (впускной клапан закрыт):

$$U(x, y, 0) = 0; W(x, y, 0) = 0; N(x, y, 0) = 0; V(x, y, 0) = 0, \quad (6)$$

В силу условия прилипания на поверхности поршня, стенок и крышки цилиндра будем иметь:

$$\begin{aligned} U(0, y, t) &= 0; W(0, y, t) = 0; \\ N(0, y, t) &= \frac{dS_k(t)}{dt}; V(0, y, t) = 0; \\ U(x, 1, t) &= 0; W(x, 1, t) = 0; N(x, 1, t) = 0; V(x, 1, t) = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Из условий циркуляционной симметрии:

$$U(x, 0, t) = 0; W(x, 0, t) = 0; N(x, 0, t) = 0; \frac{\partial V}{\partial y}(x, 0, t) = 0. \quad (8)$$

На основе экспериментального исследования будем иметь следующие условия на верхней границе области «Б» (плоскость S):

$$U(1, y, t) = U_\varphi(r, t); W(1, y, t) = 0; N(x, y, t) = U_z(r, t); V(1, y, t) = 0. \quad (9)$$

Система уравнений (2)-(5) совместно с граничными и начальными условиями (6)-(9) образует краевую задачу, описывающую движение закрученного воздушного потока в процессе наполнения цилиндра.

Для описания перемещения поршня во времени воспользуемся известной зависимостью

$$S_h(t) = R_k \left[1 - \cos \omega t - \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\omega t) \right], \quad (10)$$

где λ – постоянная кривошипно-шатунного механизма

$$\lambda = R_k / L_m;$$

R_k – радиус кривошипа;

L_m – длина шатуна;

ω – угловая скорость вращения коленчатого вала.

Зависимость для величины E находилась посредством сопоставления расчетного и опытного материала по распределению скоростей движения в камере сгорания в конце сжатия. Для этой цели бралось граничное распределение поля скоростей в плоскости S , полученное методом ЛДА. После этого, задавшись рядом значений E , просчитывался процесс наполнения, а затем с величиной E , полученной по методике [3], – процесс сжатия. За исковую бралась та величина E , при которой скорости движения в конце сжатия наиболее приближались к экспериментальным значениям. Обработка полученного материала дала возможность получить следующее соотношение [8]

$$E = \left[\frac{D^3 S_n n}{31,6 \cdot K d h \cos \alpha} + 24,8 \right] \left(\frac{1}{\beta} \right)^{0,5} \cdot 10^{-4}, \quad (11)$$

где S_n – ход поршня;

K – коэффициент заштриховки ($K = 0,75$ для ширмы с углом охвата 90°);

h – высота подъема клапана;

β – безразмерная характеристика области моделирования, $\beta = R/L$.

Модельная система уравнений решалась по явной разностной схеме [9]. Сходимость выбранного численного алгоритма является удовлетворительной, начиная с величины временного интервала, определяемого по формуле

$$h_3 \leq \min \frac{h_1^2, h_2^2}{4E}, \quad (12)$$

где h_1, h_2 – шаги разностной сетки в радиальном и осевом направлениях соответственно.

При численном решении краевой задачи областью моделирования становится нормированный участок $x, y \in \{0 \leq x \leq 1; 0 \leq y \leq 1\}$. В силу принятой осевой симметрии движения вы-

числение достаточно проводить для одной половины цилиндра, в другой половине поле скоростей может быть получено зеркальным отображением. Сравнение расчетных и экспериментальных данных, проведенное в [3] для конца сжатия, показало хорошее совпадение результатов.

Численное моделирование динамики вихревых потоков проводилось для двигателя ЧН18/20 с плоской конфигурацией поверхности днища поршня. При этом допускалось, что функционал $C(r, t)$, полученный при исследовании двигателя Ч8,5/11, справедлив и здесь. На рисунке 4 в качестве примера приведена динамика пространственной структуры окружной скорости V_θ при частоте вращения коленчатого вала 900 мин^{-1} и степени сжатия, равной 15. Для удобства чтения в разрыве линий эквипотенциальных скоростей проставлены численные значения последних в км/с. Разрыв линий равных скоростей в верхней части цилиндра объясняется тем, что верхняя граница исследуемого объекта открыта, и через нее осуществляется непрерывное наполнение цилиндра свежим зарядом воздуха.

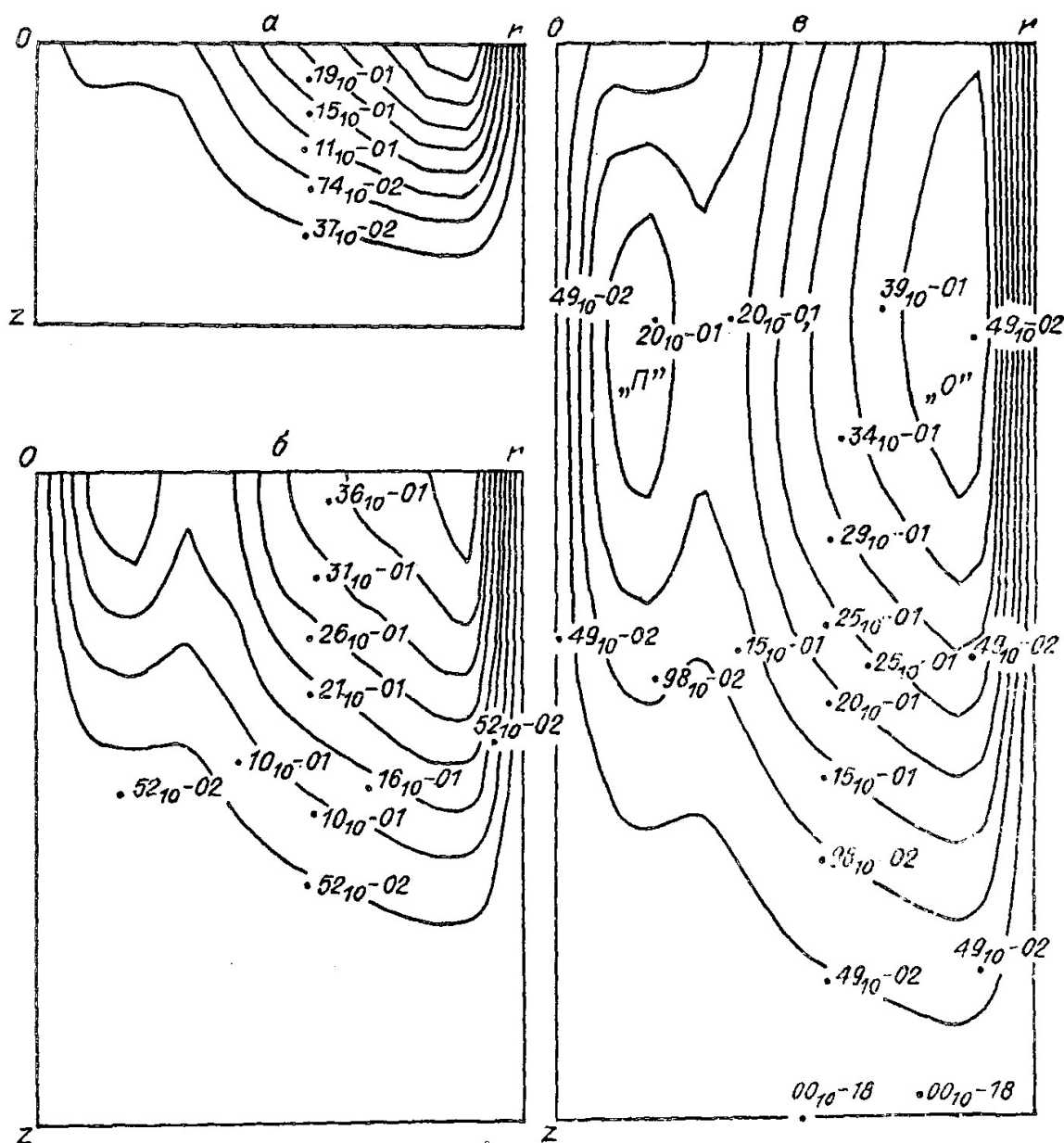


Рисунок 4 – Распределение тангенциальной скорости V_θ при наполнении цилиндра двигателя размерностью 18/20

Анализируя динамику вихревого движения, представленного на рисунке 4, нетрудно видеть так называемое втягивание вихря и образование двух характерных областей локального максимума («0» и «II»), что отмечается во многих экспериментальных исследованиях. Причем область «0» соответствует формированию «основного» вихря (большого по ампли-

туде), а «II» — так называемый паразитный вихрь. Так же следует отметить увеличение амплитуды тангенциальной скорости и ее неравномерное распределение по высоте цилиндра (рисунок 5), что объясняется затуханием вихревого движения при проникновении его в нижние слои цилиндра.

В результате анализа обширного расчетного материала можно сделать следующие основные выводы. Формирование вихревого движения и период процесса наполнения физически идентично процессу истечения воздушного потока в полубесконечное цилиндрическое пространство, поскольку вихревой поток, как это видно из эпюр, слабо контактирует с поверхностью поршня. Из этого следует, что основным источником турбулентности здесь является инициирование вихреобразования впускными органами и взаимодействие потока со стенками цилиндра, а не с поверхностью поршня. В отличие от такта сжатия диссипация вихревого движения при наполнении осуществляется, начального уровня турбулентности и потерн асимметричного вихря на симметричный.

При достижении поршнем НМТ следует отметить значительную неоднородность распределения тангенциальной скорости по высоте цилиндра. Пространственная неоднородность определяется в основном возмущающим воздействием формирующего движения в центральной области, которое является существенным фактором, влияющим на физические аспекты диссипативных процессов в период процесса наполнения.

Показано, что с увеличением хода поршня увеличивается неравномерность распределения, скорости и падение ее амплитуды по высоте цилиндра. В процессе сжатия происходит более позднее взаимодействие поверхности поршня с основным вихревым потоком. Установлено, что скорость поршня и диаметр цилиндра слабо влияют на пространственную структуру ВЗ но оказывают значительное воздействие на амплитудные характеристики движения. Зависимость скорости вихревого движения от этих параметров носит нелинейный характер.

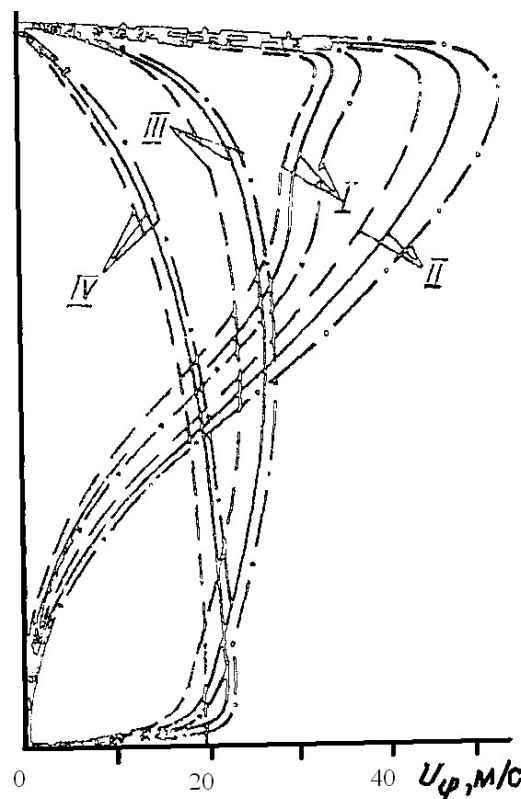


Рисунок 5 – Перестройка вихревого движения в зависимости от скоростного режима двигателя размерностью 18/20

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Закржевский, В.П. Математическая модель процесса вихревого движения воздушного заряда в цилиндре дизеля / В.П. Закржевский, О.Н. Лебедев, С.И. Рудин // Изв. СО АН СССР. Сер. Техн. наук. -1982. -№13, -Вып.3.
- 2 Куделин, О.Г. Анализ вихревого движения воздушного заряда в цилиндре ДВС / О.Г. Куделин, О.Н. Лебедев, С.И. Рудин // Изв. СО АН СССР. Сер. Техн. наук. -1981. -№16, -Вып.3.
- 3 Лебедев, О.Н. Численный анализ динамики воздушного заряда в камере сгорания ДВС / О.Н. Лебедев, Н.Н. Сергеев-Альбов, С.И. Чирков // Изв. СО АН СССР. Сер. Техн. наук. -1986. -№4, -Вып.1.
- 4 Чирков, С.И. Параметрическая оценка динамики процесса наполнения / С.И. Чирков, Н.Н. Сергеев-Альбов, А.В. Бастерс // Совершенствование процессов в судовых дизелях. -Новосибирск, 1986.
- 5 Исследование аэродинамических процессов в двигателях внутреннего сгорания методом лазерной доплеровской анемометрии / А.В. Бастерс, О.Н. Лебедев, В.И. Титков, С.И. Чирков // Изв. СО АН СССР. Сер. Техн. наук. -1987. -№15, -Вып.4.
- 6 Бастерс, А.В. Физико-математическая модель формирования турбулентного потока в период наполнения ДВС / А.В. Бастерс // Исследование и методы повышения эффективности технической эксплуатации судовых энергетических установок. -Новосибирск, 1984.

7 Бастерс, А.В. Анализ формирования вихревых потоков в цилиндре ДВС / А.В. Бастерс // Техническая эксплуатация и исследование судовых энергетических установок. - Новосибирск, 1985.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: воздушный заряд, наполнение цилиндра, такт сжатия, поле скоростей
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Бастерс Аркадий Васильевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Лебедев Борис Олегович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

КОМБИНИРОВАННЫЕ СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГОРОДСКОГО АВТОМОБИЛЯ

ГОУ ВПО «Челябинское высшее военное автомобильное командно-инженерное училище»

В.В. Руднев, М.Л. Хасанова, К.Б. Нестеров

THE COMBINED POWER-PLANTS FOR THE CITY AUTOMOBILE
«Chelyabinsk higher military automobile command-engineering school»
V.V. Rudnev, M.L. Hasanova, K.B. Nesterov

On the basis of the analysis of existing designs the concept of the city automobile and its power installation, consisting in reduction of dimension of the engine due to increase in average effective pressure by addition of compressed air on a step of expansion in a diesel cycle, and recuperation is offered to energy on a mode of braking and idling with subsequent use of this energy for speeding up of the engine on peak loadings.

Keywords: combined, engine, recycling, accumulation, efficiency, the diesel engine, the city automobile

На основе анализа существующих конструкций предложена концепция городского автомобиля и его энергетической установки, заключающаяся в уменьшении размерности двигателя за счет увеличения среднего эффективного давления путем добавления сжатого воздуха на такте расширения в дизельном цикле, и рекуперации энергии на режиме торможения и холостого хода с последующим использованием этой энергии для форсирования двигателя на пиковых нагрузках.

Анализ транспортных систем современных городов мира показывает наличие следующей проблемы. Вследствие постоянного развития городов происходит увеличение транспортных потоков, однако темпы роста пропускной способности магистралей существенно отстают от темпов увеличения количества эксплуатируемых, в основном легковых, автомобилей [3, 5, 7, 8].

Несмотря на постоянное развитие общественного надземного и подземного транспорта эта ситуация усугубляется. С другой стороны обостряются экологические проблемы, связанные с ростом загрязнения окружающей среды отработавшими газами. Это свидетельствует о необходимости глубокого анализа причин возникновения проблем транспортных систем и изыскания путей их разрешения.

Практика эксплуатации легковых автомобилей в крупных городах мира показывает, что их характеристики близкие к эталонным практически не реализуются, средние скорости движения транспорта снизились до 15-30 км/час [3, 7, 8]. Более 80% автомобилей имеют суточный пробег до 40-70 км, в 90% случаев в 4-5 местном автомобиле передвигаются 1-2 человека, в среднем 1,3 [7, 8]. Другими словами, в силу недостаточной согласованности характеристик легкового автомобиля с характеристиками городских транспортных систем, имеющими высокую интенсивность движения, потенциальные возможности автомобилей не только не используются, но и не могут быть использованы.

В результате эффективность легкового автомобиля, как степень соответствия реализуемого эффекта применения автомобиля потенциальному, составляет не более 20-30% [1, 2]. В то же время, эффективность других транспортных средств находится на уровне не ниже 75-80% [2]. То есть с позиций целесообразности расходования ресурсов современный многофункциональный легковой автомобиль малоэффективен, особенно в качестве городского автомобиля.

Основные причины низкой эффективности современного легкового автомобиля связаны с его энергетической установкой (ЭУ). Мощность двигателя существенно выше требуемой для преодоления основных сопротивлений движению. Она выбирается из условия необходимости преодоления максимальных дорожных сопротивлений или для кратковременных разгонов. Автомобильные двигатели практически все время работают на режимах малых нагрузок и холостого хода, коэффициент использования мощности двигателя составляет не

более 0,2-0,4 при существенном ухудшении экономичности и повышении токсичности отработавших газов [2, 5, 7, 8]. Для современных легковых автомобилей характерна мощность двигателя порядка 75-100 кВт, хотя потребляется в среднем не более 15-25 кВт [1, 8].

В результате, эффективность традиционных энергетических установок недостаточна, а их эксплуатационные свойства не удовлетворяют современным требованиям [1, 10, 11]. Так как снижение потерь энергии стабилизацией её потребления для транспортного средства невозможно, необходимо изыскать более эффективные способы энергопреобразований и реализовать их в альтернативных комбинированных энергетических установках (КЭУ) использующих принципы аккумуляции и рекуперации энергии [1, 8].

Основной принцип создания альтернативных КЭУ – переход к разделению производства энергии, ее накоплению и последующему потреблению в зависимости от потребности.

В настоящее время имеются неиспользуемые резервы повышения эффективности автомобильных энергетических установок путем утилизации энергии в форме теплоты, содержащейся в отработавших газах и охлаждающих жидкостях двигателей. Это может обеспечить повышение коэффициента полезного действия установок на 30-50%, а также существенно снизить токсичность отработавших газов [1, 4].

Анализ существующих схем показал, что наиболее целесообразным техническим решением для практической реализации является комбинированная энергетическая установка (рисунок 1), состоящая из первичного теплового двигателя, аккумуляторов энергии в форме теплоты и работы и вторичного теплового двигателя, использующего накопленную в аккумуляторах энергию и способного пополнять её путем рекуперации, например в режимах торможения.

Мощность, развиваемая первичным тепловым двигателем, не связана с потребляемой для преодоления дорожного сопротивления в конкретный момент времени. Поэтому первичный тепловой двигатель может работать на наиболее экономичном стационарном режиме. Необходимая эффективная мощность первичного теплового двигателя определяется из баланса выработанной энергии (теплоты и работы) и используемой энергии в форме работы с учетом возможной рекуперации.

Исследование альтернативной КЭУ с первичным тепловым двигателем, расширительной машиной, теплового и аккумулятора сжатого воздуха показало, что массогабаритные показатели этих установок далеки от совершенства и не идут в сравнение с аналогичными по мощности двигателями внутреннего сгорания. Для решения данной проблемы предлагается совместить в одном агрегате компрессор и ДВС.

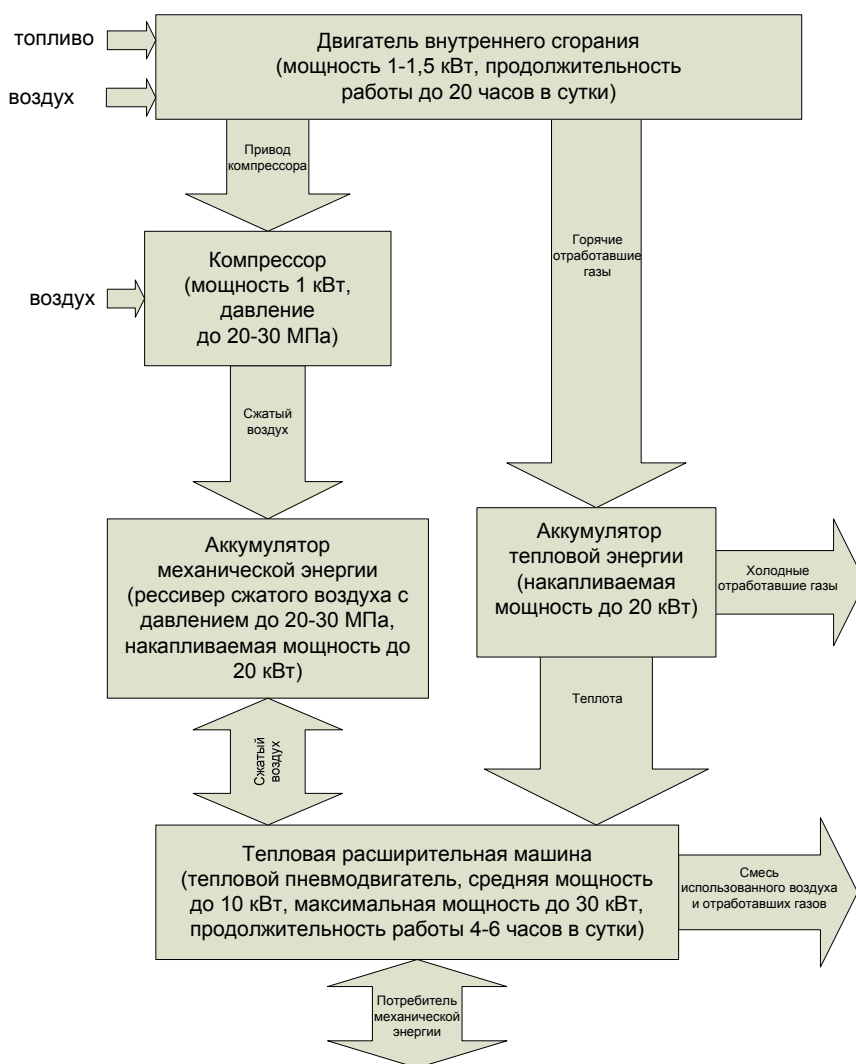


Рисунок 1 – Альтернативная КЭУ с первичным тепловым двигателем, расширительной машиной (вторичный тепловой двигатель) и различными аккумуляторами

Предлагаемый КЭУ представлен на рисунок 2 [9]. Снижение массогабаритных показателей предлагаемой КЭУ обеспечивается увеличением среднего эффективного давления путем добавления сжатого воздуха на такте расширения в дизельном цикле, использованием изменения рабочего объема двигателя для рекуперации энергии на режиме торможения и холостого хода с последующим использованием этой энергии для форсирования двигателя на пиковых нагрузках.

Решение поставленной задачи достигается тем, что на режимах торможения двигателем и на холостом ходу происходит рекуперация энергии, то есть часть сжимаемого воздуха накапливается в ресивере, а на режимах пуска холодного двигателя увеличивается степень сжатия и для форсирования двигателя при пиковых нагрузках происходит увеличение среднего эффективного давления за счет подачи в цилиндр сжатого воздуха [9].

На установившихся режимах работа комбинированного двигателя осуществляется по четырехтактному циклу дизеля. На режимах холостого хода и торможения двигателем происходит аккумулятирование сжатого воздуха в ресивере, а теплоты отработавших газов в тепловом аккумуляторе.

На режиме форсирования двигателя на пиковых нагрузках сжатый воздух из ресивера подается в горячие газы на такте расширения, увеличивая давление.

На режиме пуска холодного двигателя степень сжатия увеличивается, что способствует улучшению пусковых качеств двигателя.

Использование перечисленных режимов позволяет на предлагаемой КЭУ по сравнению с снизить токсичность выбрасываемых в атмосферу отработавших газов, позволяет производить форсирование двигателя на пиковых нагрузках увеличением среднего эффективного давления на такте расширения путем использования энергии высоко сжатого воздуха, позволяет повысить экономические показатели за счет пополнения ресивера сжатым воздухом на режиме торможения и холостого хода.

Для определения мощности предлагаемой КЭУ используем имеющиеся опытные данные по структуре цикла движения автомобиля и доле времени рекуперации (режимы торможения) [1-3, 5], а также данные по потерям энергии при её аккумулятировании и передаче в подводных аппаратах с тепловыми аккумуляторами [6]. Например, при умеренно интенсивной эксплуатации автомобиля массой 800 кг в городском цикле (ГОСТ 20306) в течение 10 ч с пробегом 400 км с характерной средней скоростью движения 18-20 км/ч [7, 8] и времени работы КЭУ в течение 18-20 ч его мощность составляет не более 5-10 кВт. Полученная мощность в 5-7 раз меньше мощности ЭУ автомобиля-аналога, выполненного по традиционной схеме и на 20% меньше мощности ПТД для схемы КЭУ с электропреобразованием энергии теплового двигателя. При этом возможности аккумулятора теплового и аккумулятора сжатого воздуха позволяют кратковременно увеличивать мощность предлагаемой КЭУ для обеспечения требуемых динамических показателей городского автомобиля. Кроме отмеченного, к преимуществам рассматриваемой КЭУ по сравнению с другими относятся следующие:

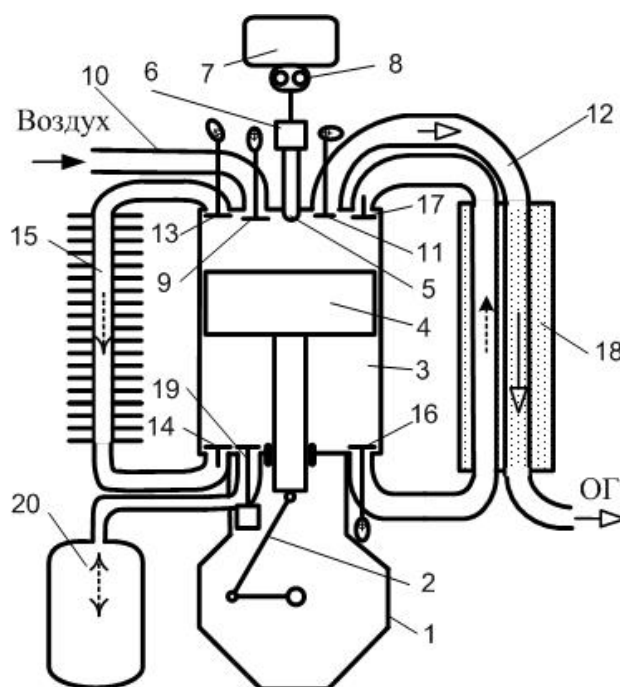


Рисунок 2 – Комбинированная энергетическая установка для городского автомобиля: 1-картер; 2-кривошипно-шатунный механизм; 3-цилиндр; 4-поршень, 5-форсунка; 6-электромагнитный клапан; 7-топливный бак; 8-насос; 9-впускной клапан; 10-впускной коллектор; 11-выпускной клапан; 12-выпускной коллектор; 13-впускной клапан охладителя; 14-выпускной клапан охладителя; 15-охладителя; 16-впускной клапан теплового аккумулятора; 17-выпускной клапан теплового аккумулятора; 18-тепловой аккумулятор; 19-электромагнитный клапан; 20-ресивер

– возможность значительного снижения токсичности отработавших газов в процессе аккумуляции их тепловой энергии [9];

– низкие стоимость и массо-габаритные показатели по сравнению КЭУ с электропреобразованием и КЭУ с первичным тепловым двигателем и расширительной машиной.

Приведенные данные свидетельствуют об эффективности предложенной схемы КЭУ городского автомобиля, а современные технические возможности позволяют её реализовать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Арав, Б.Л. Концепция экологически безопасной комбинированной энергетической установки городского автомобиля / Б.Л. Арав, В.В. Руднев // Вестн. Рос. акад. трансп. / Курган. гос. ун-т. -Курган, 2005. -Вып.5. -С. 112-114.

2 Арав, Б.Л. Основные причины ухудшения топливной экономичности многоцелевых автомобилей в эксплуатации / Б.Л. Арав // Сб. докл. / ЮУрГУ. -Челябинск, 2004. -С. 24-27.

3 Говорущенко, Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н.Я. Говорущенко. -М.: Транспорт, 1990. -135 с.

4 Кукис, В.С. Утилизация теплоты отработавших газов как средство повышения мощностных, экономических и экологических показателей поршневых ДВС / В.С. Кукис // Авиац.-космич. техника и технологии / Харьков. авиац. ин-т. -Харьков, 2003. -Вып. 41/6. -С. 174-176.

5 Мани, Л. Транспорт, энергетика и будущее / Л. Мани. -М.: Мир, 1987. -160 с.

6 Мацкерле, Ю. Современный экономичный автомобиль / Ю. Мацкерле. -М.: Машиностроение, 1987. -320 с.

7 Руднев, В.В. Двигатель для утилизации теплоты отработавших газов / В.В. Руднев, В.С. Кукис // Труды Международного форума по проблемам науки, техники и образования / Акад. наук о земле. -М., 2000. -Т.1. -С. 56-57.

8 Решение экологических проблем в городском транспорте применением комбинированных энергетических установок / В.В. Руднев, Б.Л. Арав, Н.Е. Александров, В.Ю. Костров, Д.И. Амелин // Вестн. КГТУ. Сер. Трансп. / КГТУ. -Красноярск, 2005. -Вып.39. -С. 192-195.

9 Пат. 87468. Комбинированный двигатель / Руднев В.В., Хасанова М.Л. -опубл.

10.10.09, Бюл. №28; приоритет 27.04.09.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: комбинированный, двигатель, утилизация, аккумуляция, эффективность, дизель, городской автомобиль

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Руднев Валерий Валентинович, канд. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

Хасанова Марина Леонидовна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

Нестеров Константин Борисович, курсант ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 454029, г. Челябинск, пр. Победы, 187, ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

РЕГУЛЯТОРЫ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМ КАК ОСНОВА УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБРАЗЦОВ РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ

ГОУ ВПО «Челябинское высшее военное автомобильное командно-инженерное училище»

Д.В. Нефедов

REGULATORS OF WATCHING SYSTEMS AS A BASIS OF MANAGEMENT OF MOBILE SAMPLES OF THE ROBOTISED COMPLEXES

«Chelyabinsk higher military automobile command-engineering school»

D.V. Nefedov

In article questions of realisation of installations in control systems of the robotised mobile complexes are considered. The analysis is carried out and the design of system of managements of the executive mechanism, on the basis of a universal regulator is offered.

Keywords: control system, regulator, the executive mechanism

Рассмотрены вопросы реализации установок в системах управления роботизированных подвижных комплексов. Проведен анализ и предложена конструкция системы управлений исполнительного механизма, на основе универсального регулятора.

Выбор структуры, параметров, организация алгоритмов функционирования и программ-

ного обеспечения автоматической микропроцессорной системы управления роботизированных подвижных комплексов (РПК) определяется решаемыми в процессе управления задачами, особенностями конструкции и условий функционирования.

Автоматическая система управления РПК решает задачи, связанные с выполнением функций управления и контроля технического состояния систем и агрегатов. Это задачи автоматизированного запуска двигателя, пуска двигателя и подготовки машины к движению, управления оборудованием и т.д. Однако наиболее важной и сложной в плане технической реализации является задача автоматизации управления движением машины и выполнения ею командных установок.

Серьезным препятствием для решения данной задачи является необходимость получения полной и достоверной информации о параметрах внешних условий, состоянии и режимах работы систем и агрегатов РПК. Недостаток информации и ошибки в ее обработке, воздействие помех и неверно выбранные параметры элементов системы управления приводят к снижению качества процессов управления и, следовательно, эксплуатационных показателей РПК в целом.

Для качественного решения задач управления, при разработке регуляторов следящих исполнительного уровня необходимо учитывать следующие требования:

– высокие точность и быстродействие обработки программного движения, то есть обеспечение движения исполнительного механизма со скоростью, близкой к заданной по точности позиционирования;

– отсутствие перерегулирования в точке позиционирования, это связано с тем, что перерегулирование может привести к аварийным ситуациям;

– большая жесткость к внешним возмущающим факторам;

- минимальность амплитуды колебаний исполнительного механизма, вызванных дискретностью цифровой системы;

– минимальность энергозатрат как в режиме «ожидания», так и в рабочем режиме.

При этом необходимо учитывать, что управление в реальном масштабе времени накладывает жесткие ограничения на объем вычислений на ноды (СЦБМ).

Необходимость поддерживать заданную программную скорость и обеспечить выход в заданную позицию явным образом выделяет два режима исполнительного уровня:

- режим отработки заданной скорости;
- режим отработки заданного положения.

Кроме того, широко используется комбинированный метод управления исполнительным

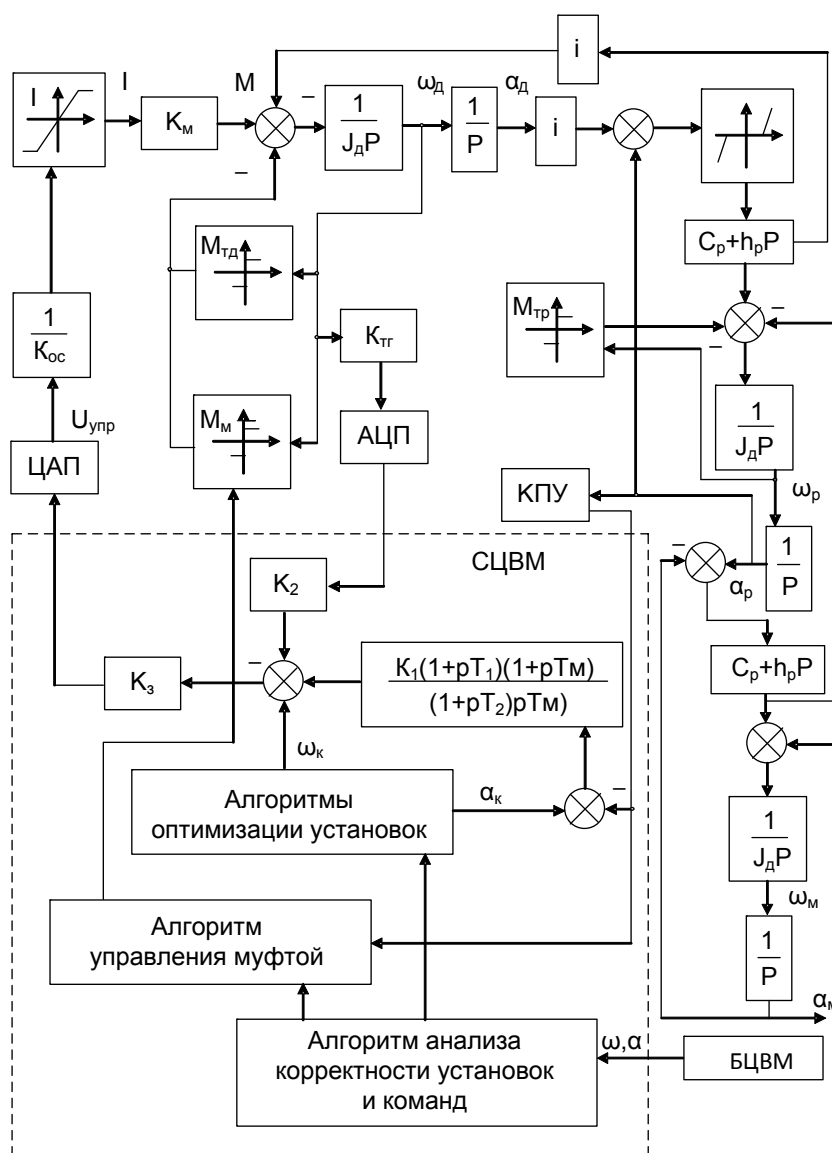


Рисунок 1 – Структурная схема следящей системы

206

механизмом, когда одновременно вырабатываются оба вида установок задания: по скорости и по угловому положению.

Все эти три режима могут использоваться с одним регулятором состояния, имеющим дополнительный контур управления по скорости.

Структурная схема следящей системы с таким регулятором представлена на рисунке 1.

Подача установок по скорости ω_k , в таком регуляторе будет осуществляться во внутренний контур, а установок по углу α_k – во внешний.

Простота реализации регулятора с двумя контурами, минимальность изменения алгоритмов (что минимизирует объем программы) при переходе из режима отработки скорости в режим отработки угла и обратно, а также высокое качество отработки программных движений и жесткость по внешним моментам позволяют выбрать такой регулятор для систем слежения исполнительного уровня.

Анализ рассмотренных режимов практически невозможен аналитическими методами вследствие нелинейности объекта управления (ОУ) и дискретного характера цифрового регулятора. Наиболее предпочтительным в этих условиях оказывается исследование процессов в следящих системах с помощью имитационного моделирования [1, 2]. Для этой цели были разработаны программы интегрирования уравнений объекта управления и модель рабочей программы, в которой в виде разностных уравнений и алгоритмов реализованы регуляторы исполнительного уровня. Силовая установка ТД описывается следующей системой нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} LI + RI + C_k \omega = f(U_y, \omega); \\ J_{\partial \theta} \varepsilon + h_{\partial \theta} \omega + f_1(\varphi - \varphi_k) = k_{\partial \theta} I - M_1 \text{sign} \omega + M_n; \\ J_k \varepsilon_k + h_k \omega_k - f_1(\varphi - \varphi_k) + f_2(\varphi_k - \varphi_n) = M_2 \text{sign}(\omega_k - \omega_n); \\ J_u \varepsilon_n + h_u \omega_n - f_2(\varphi_k - \varphi_n) = M_e - M_2 \text{sign}(\omega_n - \omega_k); \\ f_1 = \begin{cases} C_1(|\varphi - \varphi_k| - \Delta_p) \text{sign}(\varphi - \varphi_k) & \text{при } |\varphi - \varphi_k| \geq \Delta_p; \\ 0 & \text{при } |\varphi - \varphi_k| < \Delta_p; \end{cases} \\ f_2 = \begin{cases} C_2(|\varphi_k - \varphi_n| - \Delta_n) \text{sign}(\varphi_k - \varphi_n) & \text{при } |\varphi_k - \varphi_n| \geq \Delta_n; \\ 0 & \text{при } |\varphi_k - \varphi_n| < \Delta_n; \end{cases} \\ f = \begin{cases} U & \text{при } I \leq I_{\text{огр}}; \\ U_0 & \text{при } I > I_{\text{огр}}; \end{cases} \\ U = \frac{k(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}{p(T_3 p + 1)} \left\{ U_y \frac{1}{(T_\phi p + 1)} - [k_{me} + \Delta k_{me}(\varphi)] \omega \right\}; \\ \omega_n = \frac{V_n}{R_k}, \end{cases}$$

где L, R, C_k – индуктивность, сопротивление и коэффициент самоиндукции обмоток управления тягового двигателя;

$J_{\partial \theta}$ – момент инерции ротора тягового двигателя;

$h_{\partial \theta}$ – коэффициент скоростного демпфирования тягового двигателя;

J_k – момент инерции колеса с учетом подвижных элементов конструкции редуктора;

h_k – коэффициент скоростного демпфирования колеса с учетом редуктора;

M_1 – момент трения на оси двигателя;

M_n – момент возмущения за счет нелинейности моментной характеристики двигателя (пульсация момента);

M_2 – момент трения между ведущим колесом и опорной поверхностью;

J_u, h_u – эквивалентные величины момента инерции и коэффициента скоростного демпфирования БПМ (при расчетах предполагалось равномерное распределение на четыре колеса);

f – функция, описывающая ограничения по току в УИ;

φ_n – эквивалентный угол поворота нагрузки КД;

- R_k – радиус колеса;
 f_1 – функция, описывающая нелинейный характер передачи момента в редукторе;
 f_2 – функция, описывающая нелинейный характер передачи колесе;
 C_1 – линейаризованный коэффициент упругой податливости редуктора;
 C_2 – линейаризованный эквивалентный коэффициент упругой податливости привода;
 Δ_n – люфт в редукторе;
 Δ_p – зазор в приводе с учетом преднатяга;
 $k_{\partial\partial}, k_{me}$ – коэффициент передачи тягового двигателя и тахогенератора;
 Δk_{me} – пульсация коэффициента передачи тахогенератора;
 M_e – момент сопротивления при движении модуля;
 U_0 – величина ограничения напряжения управления двигателем;
 k, T_1, T_2, T_3 – коэффициент передачи и постоянные времени параметрической функции УИ управления приводом тягового двигателя;
 T_ϕ – постоянная времени фильтра низкой частоты.

Расчетный такт работы СЦВМ составляет 0,002 с.

Рассмотрим теперь два режима работы исполнительного уровня системы управлений исполнительного механизма.

Первый режим отработки заданной скорости. При двух уровневой организации системы управления верхний уровень вырабатывается установкой, которые должны отрабатываться исполнительным уровнем (рисунок 2а). Обычно такт решения задачи верхнего уровня существенно больше такта работы нижнего, в связи с этим возникает необходимость оптимизировать (преобразовать) установки задания.

Для режима отработки заданных скоростей наиболее критичными является область низких, «ползучих» скоростей. Требование по отработке низких скоростей связано с необходимостью выполнения исполнительным механизмом медленных точных операций, чему может препятствовать дискретность информации исполнительного уровня. Верхняя граница отрабатываемых скоростей определяется в основном характеристиками двигателя, и поэтому, с точки зрения следящей системы, менее критична, чем нижняя.

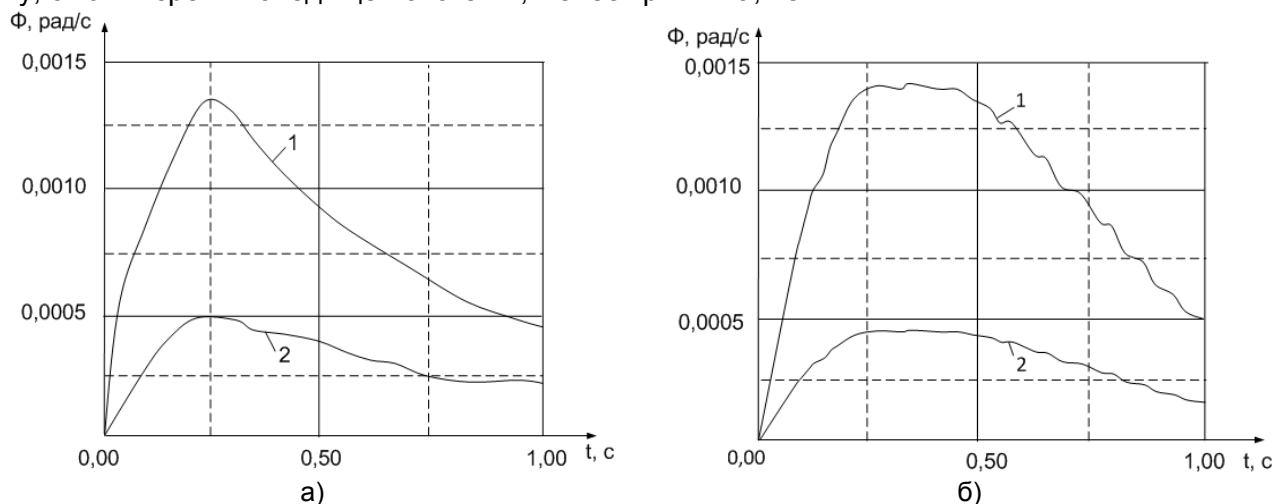


Рисунок 2 – График скорости движения исполнительного механизма: а)-режим отработки заданной скорости; б)- режим отработки заданного углового положения

Второй режим отработки заданного углового положения. Одним из основных режимов работы следящего устройства (СУ) исполнительного уровня является позиционный режим. Вывод исходного объекта в заданную точку пространства применяется и в копирующем, и в программном режимах работы. Требования к отработке заданного углового положения степени подвижности следующие:

- отсутствие перерегулирования;
- жесткость к внешним возмущающим моментам;
- точное удержание в заданном положении (среднеквадратическое отклонение не более 2 ед. младшего разряда (ЕМР) КПУ1).

На рисунке 2б (соответственно для $J_n = J_{n \max}$ и $J_n = J_{n \min}$) представлены переходные характеристики позиционной следящей системы на скачок внешнего возмущающего момента ($M_{вн} = 10 \text{ Н}\cdot\text{м}$ и $M_{вн} = 30 \text{ Н}\cdot\text{м}$). Как видно из рисунков, динамическая ошибка не превышает 4 угл. мин. при величине скачка 30 Н·м (эта величина оценочно рассчитана как максимально возможное динамическое влияние на следующую систему со стороны других степеней подвижности).

Из-за конечной жесткости выходного вала нагрузки в установившемся режиме есть ошибка, величина которой прямо пропорциональна внешнему моменту и обратно пропорциональна коэффициенту упругости C_n .

Таким образом, с точки зрения постоянства характеристик замкнутой следящей системы при переходе от одного режима к другому предпочтительно иметь один универсальный регулятор. При этом переключение режимов может происходить в блоке оптимизации установок. Рассматривалось два варианта построения этого блока: с дифференцированием установок угла, выдаваемых бортовой цифровой вычислительной машины, и последующим заданием угла и полученной скорости в регулятор и без дифференцирования.

Амплитуды колебаний при нижнем уровне скоростей 0,001-0,005 рад/с для всех вариантов приблизительно равны и зависят от жесткости системы и ее дискретности по уровню. Таким образом, анализ вариантов построения режима «ползучих» скоростей позволяет сделать вывод, что при реализации этого режима предпочтительнее использовать вариант, когда поступающая с БЦВМ установка скорости интегрируется и подается в контур угла, при этом собственно установка скорости подается во внутренний контур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Львовский, Л.Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Л.Н. Львовский. -М.: Высш. шк., 1982. -224 с.

2 Понtryгин, Л.С. Дифференциальные уравнения и их предложения / Л.С. Понtryгин. - М.: Наука, 1988. -208 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система управления, регулятор, исполнительный механизм
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Нефедов Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 454029, г. Челябинск, пр. Победы, 187, ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

ГОУ ВПО «Читинский государственный университет»

А.Г. Батухтин, В.В. Петин, И.Ф. Суворов

DISINFECTION OF WATER IN SYSTEM SITE OF CENTRALIZED HEAT SUPPLY

«Chita state university»

A.G. Batuhitin, V.V. Petin, I.F. Suvorov

The problem of microbiological contamination of water in system of centralized heat supply is considered. It is offered plan of the performing of researches directed on the decision of given problems with the usage of diaphragm of electric discharge.

Keywords: system of centralized heat supply, microorganisms, water, diaphragm of electric discharge

Рассмотрена проблема microbiологического загрязнения воды в системах централизованного теплоснабжения. Предлагается план проведения исследований направленных на решение данной проблемы с использованием диафрагменного электрического разряда.

Любая гидравлическая система, пусть даже самая современная, имеет застойные зоны в которых, для систем централизованного теплоснабжения, и других систем характерно образование microbiологических процессов с развитием различных заболеваний.

Водный путь распространения microbiологических процессов (микроорганизмов) изучен достаточно хорошо. Эти микроорганизмы способны вызвать эпидемии инфекционных и паразитарных заболеваний, таких как холера, брюшной тиф, сальмонеллез, дизентерия, амебиаз, лямбхоз, вирусный гепатит, полиомиелит и т.д. [1].

В 1999 г. в России был обнаружен холерный эмбрион в водных объектах Ростовской и Московской областей. В Приморском крае холерой заболело несколько человек. В Ростовской области была зарегистрирована вспышка лихорадки, унесшей несколько десятков жизней [1].

Микроорганизмы, способствующие обрастанию внутренней поверхности трубопроводов в системах транспортирования воды, не только отрицательно влияют на ее качество, выделяя в нее продукты своей жизнедеятельности. Поселившись в кавернах разрушенных коррозией труб, они принимают активное участие в разрушительных коррозионных процессах. Разрушение металлических труб с участием бактерий идет во много раз быстрее, чем при электрохимическом процессе коррозии. В некоторых случаях в результате биоэлектрохимической коррозии прободение труб происходит через 10-14 месяцев с начала эксплуатации. Обследование таких систем показало, что под слоем наростов, образованных железобактериями, в зонах анаэробного разложения развивались сульфатредуцирующие и нитратредуцирующие бактерии. В процессе их жизнедеятельности образуется среда, которая способствует разрушению трубопроводов. Таким образом, происходит снижение санитарной надежности и эпидемиологической безопасности питьевого водоснабжения и системы горячего водоснабжения [1].

Возникновение инфекционных заболеваний напрямую зависит от санитарных мероприятий по очистке систем горячего водоснабжения, систем питьевого водоснабжения. Значительное количество потребителей горячего водоснабжения получают ее из открытых систем, а ряд потребителей вообще из батарей отопления, поскольку проекты источников теплоснабжения не предусматривали нагрузку ГВС. В соответствии с СанПиН 2.1.4.2496-09 для систем централизованного теплоснабжения с открытым водоразбором качество воды должно соответствовать качеству питьевой воды. Для этого необходима разработка современных способов очистки и обеззараживания воды в системах централизованного теплоснабжения.

В настоящее время наибольшее распространение в системах обеззараживания нашли хлор и хлорсодержащие соединения поскольку в воде они долго сохраняют свою активность и поэтому хлорированная вода обладает бактерицидными свойствами, то есть существует эффект последствия. Эффект последствия определяется тем, что молекулы хлора сохраняют свою активность по отношению к микробам во всей системе водоснабжения, где возможно вторичное ее загрязнение. Но данным методам присущи следующие недостатки:

- недостаточная эффективность в отношении вирусов;
- высокую токсичность, мутагенность и канцерогенность;
- высокие требования к безопасности при его использовании и хранении [2].

Другие методы обеззараживания, например озонирование и воздействия ультрафиолетового излучения не имеют эффекта последствия – способности воды в течение определенного времени после обработки сохранять поражающую способность в отношении патогенных микроорганизмов [2].

В настоящее время к наиболее перспективным методам обеззараживания питьевой и сточных вод, которые могут обеспечить эффект последствия относят обработку воды электрическими разрядами которая позволяет получить высокий обеззараживающий эффект с улучшением органолептических свойств воды, а также совмещения ее с применением цеолитсодержащих пород Забайкальских месторождений (имеющих огромные запасы более 1600 млн. т и низкую стоимость менее 8 руб./кг). В работе [2] в качестве перспективного метода обеззараживания сточных вод предполагается использовать электрообработку (диафрагменный электрический разряд), которая позволяет получить высокий эффект обеззараживания.

На рисунке представлено изменение эффективности очистки при изменении исходной температуры. Целью данного эксперимента являлось изучение механизма эффекта последствия и установление бактерицидных свойств воды, обработанной электрическим диафрагменным разрядом с применением электродов из меди. Эксперименты проводились в лабораторных условиях на модельных растворах с искусственным заражением воды на установке малой производительности, средний расход через установку составил 0,5 л/мин. Исследования проводилось в два этапа – в статических условиях и в условиях потока обрабатываемой жидкости.

Применение диафрагменного электрического разряда в системах открытого водоснабжения и в системах с несанкционированным водоразбором сетевой воды для технических нужд будет иметь значительный экономический эффект, поскольку затраты электроэнергии

на данный метод обеззараживания снижаются при увеличении температуры исходной воды, а системы теплоснабжения имеют значительные температуры. При этом будет отсутствовать образование побочных продуктов в процессе дезинфекции, а также повысится уровень микробиологической безопасности систем централизованного теплоснабжения. Дополнительным эффектом применения диафрагменного электрического разряда является нагрев воды.

Положительное действие диафрагменного разряда на бытовые сточные воды от населения доказано как в лабораторных, так и в промышленных условиях, а на воды в системах централизованного теплоснабжения с открытым водоразбором предстоит провести серию экспериментов. Для этого необходимы теоретические исследования влияния диафрагменного электрического разряда на выживаемость микроорганизмов:

- 1 Определение различных факторов, получаемых вследствие воздействия диафрагменного электрического разряда на выживаемость микроорганизмов в данной среде;
- 2 Определение влияния доли материала электродов на выживаемость микроорганизмов;
- 3 Определение влияния диафрагменного электрического разряда на умягчение воды;
- 4 Исследование синергетического эффекта комплексного воздействия продуктов разряда на выживаемость микроорганизмов и умягчение воды.

С целью подтверждения теоретических исследований необходимо проведение экспериментов с разработкой адаптированной установки для обеззараживания и повышения качества воды в открытых системах горячего водоснабжения с использованием диафрагменного электрического разряда. Для этого необходимо:

- 1 Проведение патентных исследований по ГОСТ 15.011-96.
- 2 Разработка адаптированной установки обеззараживания воды в открытых системах горячего водоснабжения с использованием диафрагменного электрического разряда.
- 3 Создание опытной установки обеззараживания воды в открытых системах горячего водоснабжения с использованием диафрагменного электрического разряда.
- 4 Разработка совмещенной установки для обеззараживания и повышения качества воды в открытых системах горячего водоснабжения с использованием диафрагменного электрического разряда в присутствии цеолитсодержащей породы.
- 5 Создание опытной установки обеззараживания воды в открытых системах горячего водоснабжения с использованием диафрагменного электрического разряда.
- 6 Разработка программы испытаний. Пусконаладочные испытания и разработка оптимальных режимов работы установок.

Использование энергосберегающей системы транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии, на основе открытых систем горячего водоснабжения, с использованием инновационных методов обеззараживания теплоносителя может быть использована и в системах закрытого водоснабжения, а также при оптимизации отпуска теплоты [3]. Применение открытого водоразбора для нужд горячего водоснабжения для части потребителей позволит увеличить располагаемую мощность существующих систем централизованного теплоснабжения без реконструкции тепловых сетей.

Таким образом, очевидно, что проект разработки энергосберегающей системы транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии, на основе оптимизации откры-

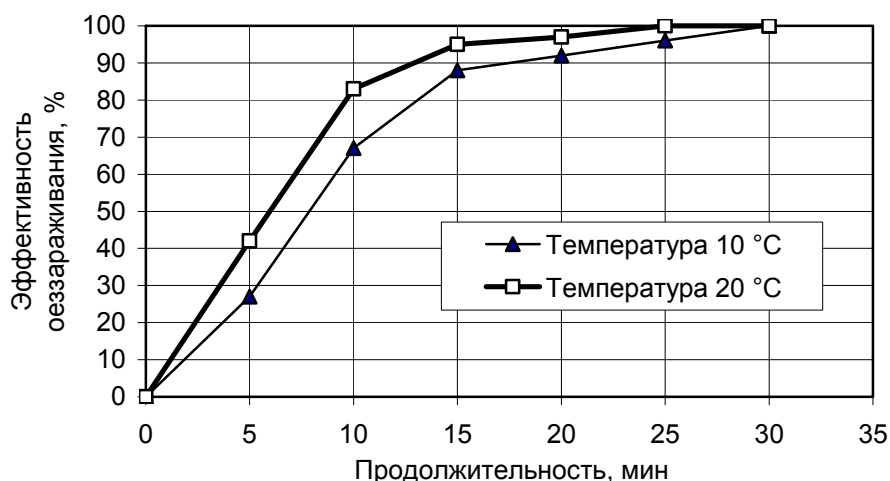


Рисунок – Зависимость эффективности обеззараживания при изменении исходной температуры

тых систем горячего водоснабжения, с использованием инновационных методов обеззараживания теплоносителя является достаточно значимым и актуальным.

Данная работа выполняется авторами в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Миклашевский, Н.В. Чистая вода. Системы очистки и бытовые фильтры / Н.В. Миклашевский, С.В. Королькова. -СПб.: Арлит, 2000. -240 с.

2 Лапшакова, К.А. Обеззараживание бытовых сточных вод малых населенных пунктов диафрагменным электрическим разрядом: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Лапшакова К.А. -Иркутск, 2009. -18 с.

3 Батухтин, А.Г. Методы повышения эффективности функционирования современных систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии / А.Г. Батухтин, М.С. Басс, С.Г. Батухтин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№2. -С. 199-202.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система централизованного теплоснабжения, микроорганизмы, вода, диафрагменный электрический разряд

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Батухтин Андрей Геннадьевич, канд. техн. наук, директор технико-внедренческого парка Петин Владимир Владимирович, специалист технико-внедренческого парка ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Суворов Иван Флегонтович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Читинский ГУ» 672039, г. Чита, ул. Александрово-Заводская, 30, ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТОПЛИВА

ГОУ ВПО «Челябинское высшее военное автомобильное командно-инженерное училище»

Д.В. Шабалин, В.В. Руднев, Д.Е. Девяткин

PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE AUTOMOBILE FUEL

«Chelyabinsk higher military automobile command-engineering school»

D.V. Shabalin, V.V. Rudnev, D.E. Devjatkin

Prospects of development of alternative automobile fuel are considered.

Keywords: ethanol, biofuel, ecology, fuel crisis, economic indicators

Рассмотрены перспективы развития альтернативного автомобильного топлива.

В настоящее время ассортимент и качество вырабатываемых и применяемых автобензинов определяется не только техническими возможностями нефтепереработки и нефтехимии, но и структурой автомобильного парка страны. А также экологическими требованиями к топливам: по содержанию серы; ароматических, в том числе бензола, и олефиновых углеводородов; по испаряемости бензинов. Производство в России автомобильных бензинов с улучшенными экологическими свойствами остается актуальным. Во-первых, для производства качественного автомобильного топлива удовлетворяющего всем требованиям эксплуатации автомобиля необходимы традиционные бензиновые компоненты компаундирования: алкилат, изомеризат, оксигенаты которые отсутствуют в необходимом количестве. Во-вторых, большинство нефтеперерабатывающих заводов находятся в эксплуатации от 30 до 50 лет, значительная часть их устарела и нуждается в модернизации. Однако из-за скудости финансирования модернизация и строительство новых установок сдерживаются. А ежегодный прирост в потребности топливом вынуждает нефтеперерабатывающую промышленность работать на объемы, а не на качество. Если учесть, что доля нефти в энергосырьевых ресурсах не превышает 11% и нефть является ценнейшим сырьем, потребление которого быстро возрастает, то следует ожидать, что этот источник энергоснабжения автомобильного транспорта начнет исчерпываться уже в текущем столетии (рисунок 1) [1, 2].

Выход из данной ситуации возможен за счет использования перспективных автомобильных топлив. Уже в восьмидесятых годах прошлого века началось массовое производство обезвоженного спирта и использование его в бензинах в США, Канаде, Бразилии, ряде

стран Европы. Практически все ведущие производители автомобилей (за исключением отечественных) допускают введение в топливо до 10% этанола. В Бразилии, благодаря мягким климатическим условиям, более половины автомобильного парка используют этанол в качестве основного вида топлива. В США широко используется «газохол», содержащий от 5,7 до 10% этанола. В 1999 году в России были разработаны и утверждены технические условия на бензины автомобильные неэтилированные, содержащие до 5% масс. этанола (ТУ 38.401-58-244-99). В 2002 году введен ГОСТ Р 51866-2002, предусматривающий выпуск бензинов с 5% объемом этилового спирта. Использование перспективного вида топлива показало ряд преимуществ по экономичности и экологичности.

Следующим шагом развития топлив, явилось разработка национального стандарта ГОСТ Р 52201-2004 «Этанольное моторное топливо для автомобильных двигателей с принудительным зажиганием. Бензолы. Общие технические требования», с датой введения в действие с 01.07.2004 г. Необходимость создания нового ГОСТа связана с тем, что бензолы являются самостоятельным видом продукции, отличающимся от бензинов по отдельным техническим характеристикам [3].

Помимо ГОСТ Р 52201-2004 на бензолы разработаны и утверждены технические условия ТУ 38.401-58-330-2003, где в зависимости от детонационной стойкости предусмотрены три марки бензолов: БИ-80, БИ-92 и БИ-95. Следует отметить, что введение в бензин до 5% этилового спирта не дает того антидетонационного эффекта, который позволил бы получить на базе АИ-92 бензин АИ-95. Использование же до 7-10% этанола позволяет без дополнительных антидетонационных присадок получить прирост октанового числа более чем на 3 единицы. При этом, благодаря более полному сгоранию топлива, количество вредных выбросов снижается на 20-30%.

В соответствии с утвержденной инструкцией по производству бензолов выработаны опытно-промышленные партии, представляющие смесь автомобильного топлива с содержанием этилового спирта до 7,8% масс., и проведены квалификационные испытания. По результатам квалификационных испытаний было отмечено,

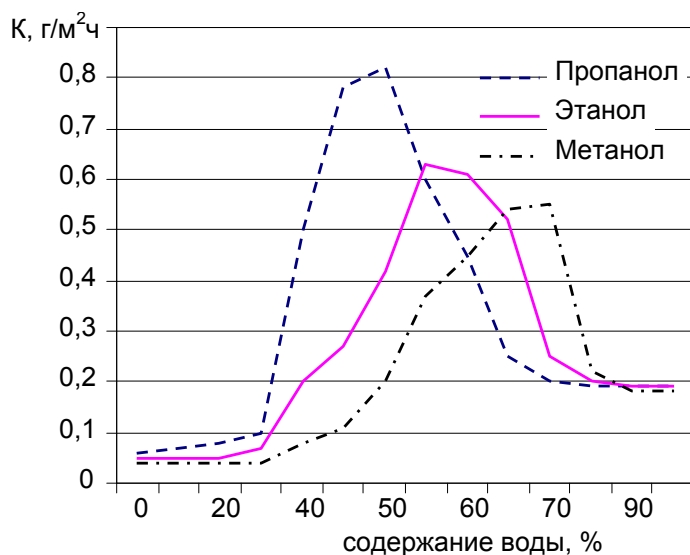


Рисунок 2 – Зависимость скорости коррозии стали Ст.3 от содержания воды в системе спирт-вода

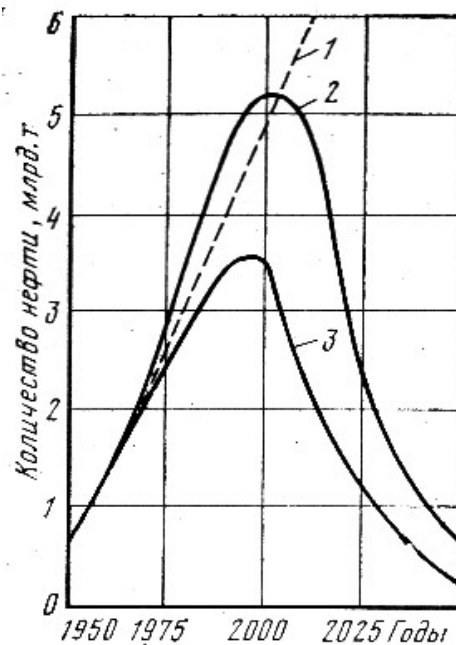


Рисунок 1 – Изменение мировой добычи и потребление нефти: 1-потребность в нефти; 2-добыча нефти при максимальном уровне запасов; 3-добыча нефти при минимальном уровне запасов

что бензолы имеют хорошее распределение детонационной стойкости по фракциям: для БИ-80 – 1,12, БИ-92 и БИ-95 – 0,98; низкое содержание ароматических углеводородов, которое составляет в БИ-92 – 26,8% об. и БИ-95- 30,6% об.

Однако, наряду с очевидными преимуществами бензолов, они имеют определенные недостатки, связанные с повышением коррозионной агрессивности топлива при наличии в нем этанола, гигроскопичностью, отрицательным воздействием на резины и пластмассы. Коррозионная агрессивность существенно возрастает в присутствии растворённой воды и в ещё большей степени в присутствии отделённой от спирта свободной воды (рисунок 2).

Кроме того, наличие в спирте воды может приводить к расслоению топлива и к снижению антидетонационного эффекта за счет абсорбирования спирта водой и снижения концентрации его в топливе. В частности, исследования показали, что в бензанолах недопустимо использование спирта ректификата крепостью 96,5%. Таким образом, для исключения попадания в бензанол воды кроме очевидных мер по его должному хранению необходимо применять только обезвоженный (абсолютированный) спирт с содержанием воды не более 0,1-0,2%. В качестве стабилизаторов бензиново-спиртовых смесей предлагается использовать довольно широкий спектр присадок: алифатические спирты С3-С12 нормального и разветвленного строения, фенолы, алкилоцетаты, простые и сложные эфиры и их металлоорганические производные, кетоны, амины, ПАВ, а также гликогели и их эфиры, альдегиды, кетали, ацетали, алкилкарбонаты, карбоновые кислоты и смеси указанных соединений. Добавка стабилизаторов препятствует расслоению спиртосодержащего бензина до температуры минус 40 – минус 23 °С. Хорошим и при этом дешёвым стабилизатором являются сивушные масла, обеспечивающие однородность топлива при температуре выше минус 25 °С. В работе [4] предложен принцип выбора стабилизатора, основанный на использовании миксотропного ряда и параметра гидрофобности Лео-Ганча. Кроме того, там же показано, что фазовая стабильность бензино-этанольных смесей повышается с увеличением концентрации спирта (рисунок 3).

Несмотря на облегчение фракционного состава топлива при добавке этанола высокая теплота испарения последнего ведет к ухудшению пусковых качеств уже при 10 °С. В связи с этим для устойчивого запуска двигателя в спирт добавляют 4-6% изопептана или 6-8% диметилэвифира. Это обеспечивает нормальный пуск двигателя при температуре минус 20) – минус 25 °С. Для этой же цели двигателя оборудуются специальными пусковыми подогревателями [5].

При работе на чистом спирте наблюдается повышенный износ трущихся частей двигателя. Это объясняется не только меньшей смазывающей способностью этанола, но и его большей, чем для бензина, коррозионной агрессивностью. Для обеспечения надежной эксплуатации двигателя и снижении износа при работе на чистых спиртах необходимы специальные моторные масла. Для этой цели разработаны масла марок ЕLА-5046 и ЕLА-5048, содержащие сверхщелочной сульфонат кальция, диалкилдитиофосфат цинка и модификатор трения[6].

Главным преимуществом топлив с ненефтяными добавками является сопоставимость их моторных свойств со свойствами традиционных топлив. По крайней мере на ближайшие десятилетия тепловой двигатель останется основным типом силовой установки для автомобилей, что вынуждает искать новые решения проблемы.

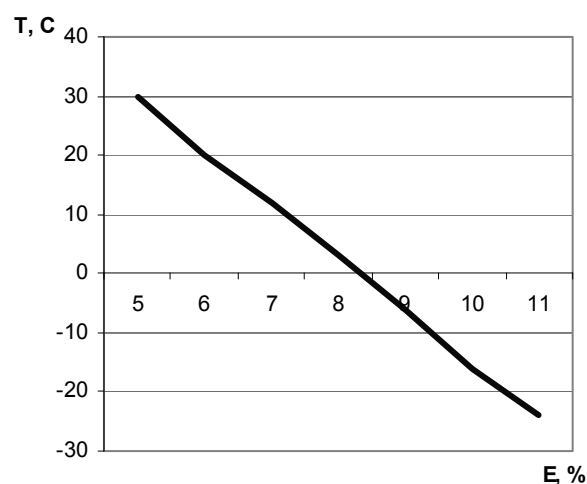


Рисунок 3 – Зависимость температуры помутнения бензино-этанольной смеси от содержания в ней этанола (содержание воды в системе 0,34%)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Смаль, Ф.В. Перспективные автомобильные топлива / Ф.С. Смаль, Е.Е. Арсенов. -М.: Транспорт, 1979. -18 с.
- 2 Джатдоева, М.Р. Теоретические основы прогрессивных технологий. Химический раздел / М.Р. Джатдоева. -Ессентуки: ЕГИЭиМ, 1998. -78 с.
- 3 ГОСТ Р 52201-2004. Топливо моторное этанольное для автомобильных двигателей с принудительным зажиганием. Бензанола. Технические условия.
- 4 Онойченко, С.Н. Разработка и исследование композиций неэтилированных бензинов, содержащих этанол: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.Н. Онойченко. -М.: ВНИИНП, 2000.
- 5 Перспективные автомобильные топлива / пер. А.П. Чочина; под ред. Я.Б. Чертова. - М.: Транспорт, 1987. -185 с.

6 Шевченко, Е.Б. Исследование коррозионной агрессивности и ингибирование спиртов и топлив на их основе : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.Б. Шевченко. -М.: ВНИИНП, 1997.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: этанол, биотопливо, экология, топливный кризис, экономические показатели

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шабалин Денис Викторович, аспирант ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

Руднев Валерий Валентинович, канд. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

Девяткин Дмитрий Евгеньевич, канд. техн. наук, преподаватель ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 454029, г. Челябинск, пр. Победы, 187, ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ НЕГАТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

А.Н. Шпиганович, П.В. Буев

RATIONAL CONSTRUCTION OF SYSTEMS OF ELECTRO SUPPLY TAKING INTO ACCOUNT NEGATIVE INFLUENCES IN RELAY PROTECTION

«Lipetsk state technical university»

A.N. Shpiganovich, P.V. Buev

Possibility is proved and the algorithm with a view of rational construction of systems of electro supply taking into account influence of negative electromagnetic indignations in relay protection is offered.

Keywords: non-failure operation of electro supply, relay protection, redundancy, negative influences

Обоснована возможность и предложен алгоритм в целях рационального построения систем электроснабжения с учетом воздействия негативных электромагнитных возмущений в релейной защите.

Современные системы электроснабжения и релейной защиты связаны электрически и функционально, образуя единый комплекс. Изменения релейной системы отражаются и на работе электрического оборудования. Негативные воздействия, оказывающие влияние на релейную защиту, является результатом функциональной взаимосвязи. Нарушения процессов электроснабжения неизбежно ведут к преждевременному износу устройств релейной защиты, что способствует ложным отключениям приемников. Это существенно снижает эффективность функционирования систем электроснабжения, а значит, задача их рационального построения остается одной из актуальных на сегодняшний день.

Одним из приоритетных направлений увеличения безотказности систем электроснабжения служит техническая модернизация элементной базы релейной защиты, определяющая ее эксплуатационные показатели. В качестве типового объекта исследования по указанной проблеме принята типовая подстанция 110/35/6 кВ «Бугор» филиала ОАО «МРСК-Центра» – «Липецкэнерго» (г. Липецк). Электрическая схема подстанции включает в себя подсистемы: силовую часть и цепи управления, релейную защиту и автоматику. Однако основная доля электрооборудования функционирует без учета негативных факторов в условиях неблагоприятной обстановки – продолжительность текущих ремонтов составляет не более 15-17 ч. В течение этого времени ответственные электроприемники I и II-й категории оставались без резервного питания, что не только снижает безотказность электроснабжения, но и ведет к нарушениям технологического процесса в производстве, создает повышенную аварийную опасность и др.

Исследования показывают, что одной из основных причин по отказам электрооборудования служат негативные воздействия в релейной защите. Причем их распределение в системе неравномерно, поэтому условия эксплуатации электроустановок нельзя считать равнозначными. Наибольшей степени воздействия подвержены устройства, которые ближе других находятся к источникам помех. Результаты показывают, в такой ситуации целесообразно применять разные защитные принципы: электромеханические и микропроцессорные – это уменьшает вероятность их одновременного отказа. В настоящее время защита отходящих кабельных линий 6 кВ включает токовую отсечку и максимальную токовую защиту, собранную на электромеханических реле РТ-40/10, РТ-40/50, РТ-23, РП-11 и РУ-21. Для резервирования узлов релейной защиты следует устанавливать дополнительный комплект микропроцессорной защиты. При этом можно оптимизировать схемы их электропитания, разделив цепи заземления и нулевые цепи с использованием системы TN-S и TN-C-S. В высоковольтных сетях высокий уровень магнитных полей при коротких замыканиях представляет непосредственную угрозу для микропроцессорной аппаратуры. Поэтому в первую очередь должен обеспечиваться высокий уровень устойчивости к электромагнитным помехам.

Рассмотренные технические мероприятия способствуют повышению эффективности функционирования систем электроснабжения за счет использования избыточности релейной защиты. Увеличивается выпуск продукции предприятия, возрастает объем электрической энергии. Если между технологическим оборудованием и системой электроснабжения имеется жесткая технологическая связь, эксплуатационная производительность рабочих

машин связана с вероятностью безотказности электроснабжения выражением

$$\Pi_m = \prod_{i=1}^n P_i \bar{P}_i T_{mm} n,$$

где P_i – вероятность работы i -ой электрической цепочки;

$\bar{P}_i$ – эксплуатационная производительность технологической машины;

T_{mm} – время работы технологической машины;

n – число электрических цепочек.

В результате увеличивается пропускная способность оборудования и технологических машин. Производительность увеличивает спрос на электрическую энергию. Доля израсходованной энергии и объем выпущенной продукции связаны линейно, однако, на единицу продукта с увеличением его объема, расход по энергии может незначительно уменьшаться. Если пренебречь таким снижением, то количество выпускаемой продукции определяется производительностью, а ее относительный прирост выразится зависимостью

$$\delta = \frac{P_m}{P}, \quad (1)$$

где P_m, P – вероятности безотказного функционирования системы электроснабжения после и до использования избыточности релейной защиты.

Внедрение структурной и информационно-временной избыточности с учетом связующего коэффициента K_c позволяет представить (1) в виде

$$\delta_z = K_c + \frac{1 - K_c}{P_m}. \quad (2)$$

Прирост выпускаемого продукта может быть выражен через временные параметры надежности электрического оборудования, то есть

$$\delta_z = P \left(1 + \sum_{i=1}^m K_{ci} \frac{\bar{\Theta}_i}{\bar{\tau}_i} \right)^{-1}, \quad (3)$$

где m – число рассматриваемых единиц электрооборудования;

K_c – коэффициент связи систем;

$\bar{\Theta}_i, \bar{\tau}$ – среднее время восстановления и наработка на отказ i -й единицы электрооборудования.

Относительный прирост производительности предложено рассчитать через вынужденные простои технологических машин и агрегатов из-за перерывов электроснабжения по причине отказа релейной защиты

$$\delta_n = \frac{1 - \bar{\mu}_n' \bar{Q}_c}{1 - \bar{\mu}_n \bar{Q}_c}, \quad (4)$$

где $\bar{\mu}_n', \bar{\mu}_n$ – частота вынужденных перерывов в работе технологических машин после и до внедрения избыточности системы релейной защиты по повышению эффективности в электроснабжении;

$\bar{Q}_c$ – средняя остановка технологических машин от отказов оборудования.

В зависимости от коэффициентов K_c в (3) для различных P построены графики по изменению относительного прироста потребляемой энергии (прирост продукции) промышленным производством (рисунок 1).

Полученные результаты для систем электроснабжения с использованием избыточности релейной защиты можно использовать как на стадии проектирования, так и эксплуатации электрических систем, что обеспечивает их рациональное построение и эффективность в функционировании.

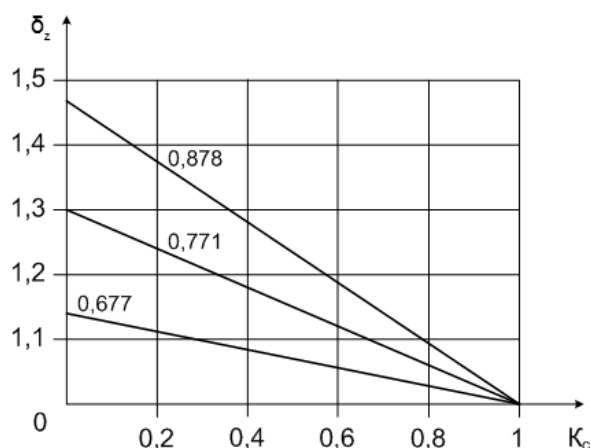


Рисунок 1 – Графики изменения прироста объема производства от вероятности безотказного электроснабжения технологических машин и коэффициентов связи избыточности систем релейной защиты

Построение рациональных систем электроснабжения с учетом обстановки, влияющей на работу релейной защиты, является важной задачей. Связано это с негативными последствиями воздействиями возмущающих помех. Для реализации поставленной задачи предлагается использовать алгоритм, схематично представленный на рисунке 2.

Алгоритм содержит три определяющих этапа: анализ отдельных соединений системы электроснабжения, оценка мероприятий, способствующих повышению эффективности в функционировании электрооборудования и технико-экономическое обоснование повышения безотказности сети.

На первом этапе реализуется анализ участков системы электроснабжения с учетом релейной защиты, фиксируют уровни негативных помех с оценкой воздействия на аппараты, обрабатывают статистические данные функционирования оборудования и аварийных отключениях, а после чего выполняют расчет параметров потока распределения влияния помехи на адекватность действия устройств защиты. На втором этапе производится постановки и выбор мероприятий, повышающих эффективность функционирования электрооборудования. На заключительном третьем этапе экономически обосновывается выбор предлагаемой модернизации, и принимаются решения по внедрению разработанных мероприятий и инноваций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: безотказность электроснабжения, релейная защита, избыточность, негативные воздействия
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шпиганович Александр Николаевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»
 Буев Павел Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»



Рисунок 2 – Схема алгоритма к построению рациональной системы электроснабжения с учетом негативных воздействий в релейной защите

СОГЛАСОВАНИЕ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК С РЕЗКОПЕРЕМЕННЫМ ГРАФИКОМ НАГРУЗКИ

ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

Е.П. Зацепин, Ю.А. Шурыгин

THE ELECTROINSTALLATIONS WITH OFTEN VARYING POWER DIAGRAM FUNCTIONING MODES COORDINATION
 «Lipetsk state technical university»
 E.P. Zatsepin, Yu.A. Shurygin

The analysis of coordination methods power diagram for group electro installations functioning on work cycles is carried out; basic directions of operating modes coordination development are defined.

Keywords: functioning mode, electro installations group, coordination of power diagram

Проведен анализ методов согласования графиков нагрузки для группы электроустановок, функционирующих по технологическим циклам; определены основные направления развития согласования режимов работы.

На промышленных электротермических производствах электрические установки (ЭУ) в большинстве случаев используются группами. Их питание осуществляется от одного или от нескольких электрически близко расположенных вводов. Число приемников питающихся от одного ввода изменяется от 2 до 10. Наиболее широко применяется вариант функционирования в группе 2-3 одинаковых установок. В связи с наблюдающейся тенденцией возрастания удельной мощности резкопеременных и нелинейных нагрузок производств актуальным является рационализация режимов функционирования группы ЭУ с позиции их согласования.

Индивидуальный график нагрузки электроустановок имеет резкопеременный и циклический характер. Цикл функционирования подразделяется на четыре основных периода: расплавление, окисление, восстановление и простой. Наиболее резкие колебания напряжений и токов появляются в период расплавления. При этом генерируется основная часть электромагнитных возмущений. Мощность, потребляемая в этот период, имеет максимальное значение. Для периодов окисления и расплавления характерны более спокойный график используемой мощности и менее значительное негативное воздействие на электрооборудование и систему электроснабжения (СЭС). Простой ЭУ вызваны необходимостью проведения профилактических осмотров и ремонтных работ.

График нагрузки как одной, так и группы установок представляет собой случайный процесс. Уровень воздействия одновременно функционирующих установок на питающую сеть определяется вероятностью и длительностью совпадения периодов расплавления. Этот вариант наложения графиков нагрузки является наиболее тяжелым (рисунок).

Значение мощности потребляемой группой, при этом принимает максимальную величину. Вероятность появления указанного события зависит от вероятности функционирования отдельных ЭУ и от взаимосвязи их индивидуальных графиков нагрузки, то есть от количества работающих установок и технологических факторов. С увеличением числа электроприемников эта вероятность уменьшается. При их количестве в группе более четырех возможность совпадения периодов расплавления практически равна нулю. В случае совместной работы пяти или шести ЭУ допускается учитывать вероятность совпадения периодов расплавления четырех и пяти установок. В случае функционирования в группе семи или восьми установок учитывается вероятность наложения только шести из них. Увеличение приемников электроэнергии приводит к снижению вероятности их одновременного отключения.

Коэффициент включения увеличивается и при пяти (и более) ЭУ может быть принят

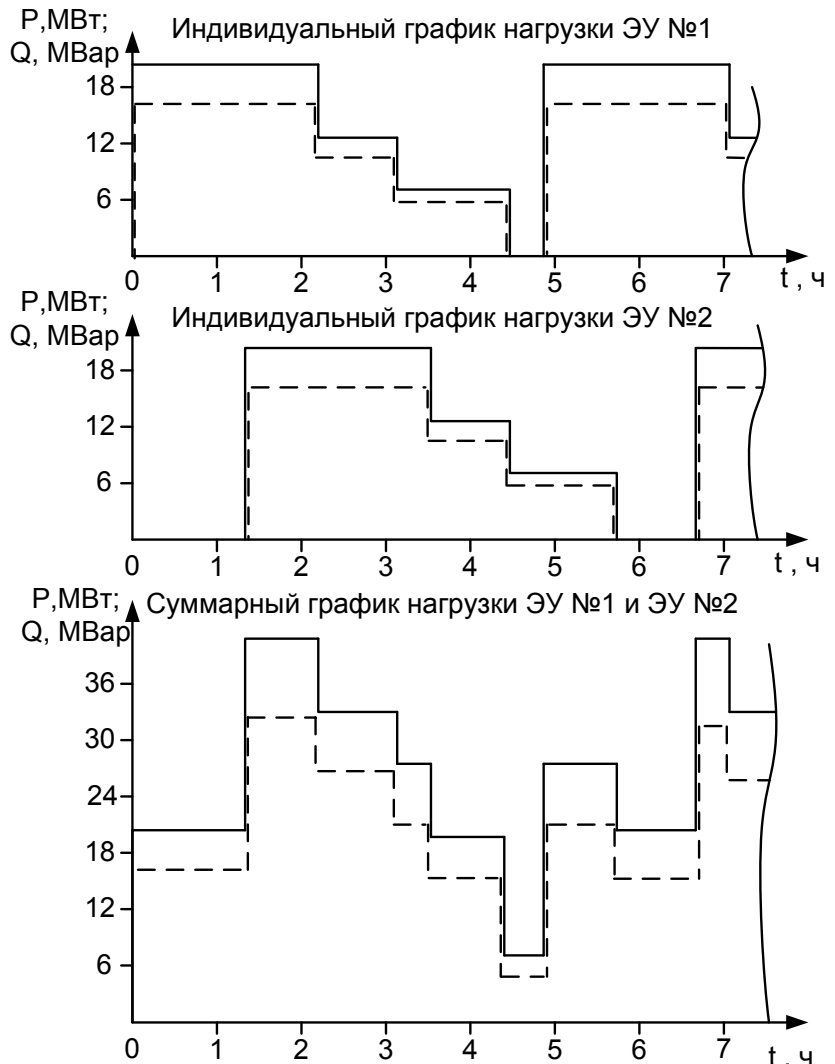


Рисунок – Графики нагрузки ЭУ: сплошная линия – активная мощность P ; пунктирная линия – реактивная мощность Q

равным единице. Пиковые нагрузки растут медленнее, чем средние, поэтому коэффициент максимума снижается. Коэффициент формы графиков суммарной нагрузки уменьшается и стремится к единице. Для реактивной нагрузки он принимает большие значения. Как для индивидуальных графиков, так и для суммарных, колебания реактивной мощности значительнее, чем активной [1]. Взаимосвязь графиков нагрузки обусловлена единой программой цеха, ограниченным количеством вспомогательного оборудования (кранов, ковшей, завалочных механизмов), пропускной способностью питающих линий и трансформаторов. Детерминизм графиков особенно ярко выражается при наличии в цехе установок непрерывной разливки стали. Однако анализ работы группы ЭУ ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат» (г. Старый Оскол) показал, что зависимость графиков нагрузки выражается слабо, особенно при большом числе установок.

Вероятность наложения периодов расплавления независимо функционирующих ЭУ подчиняется биномиальному закону распределения. С увеличением числа электроприемников, присоединенных к общей точке, диапазон колебаний напряжения возрастает, но он не является арифметической суммой отдельных колебаний, так как в большинстве случаев броски токов не совпадают друг с другом. В некоторые промежутки времени наложения периодов расплавления суммарная дисперсия напряжения группы ЭУ может быть меньше, чем максимальная дисперсия при функционировании единичной установки. Однако, если рассматривать весь промежуток времени совпадения периодов, то наблюдается увеличение колебаний напряжения. Результаты анализа показывают, что при работе одной ЭУ размах колебаний может быть близок к максимальным значениям, характерных для работы двух установок. В этой связи является наиболее целесообразным более широкое использование принципов согласования режимов функционирования ЭУ.

Рациональная организация и оптимизация графиков резкопеременных нагрузок оказывает положительное воздействие на питающую сеть, что позволяет повысить технико-экономические показатели СЭС промышленных предприятий. Одной из основных задач выравнивания графиков нагрузок является снижение максимума нагрузки. Это продиктовано ограниченной пропускной способностью питающих линий и трансформаторов. Особенно остро данная проблема проявляется при развитии промышленных цехов с заменой установок на более мощные или при увеличении их количества. В связи с недостатком мощности или энергии ограничения могут быть введены энергетическими системами. Регулирование групповой работы ЭУ необходимо осуществлять исходя не только из эффективности производственного процесса, но и учитывая интересы энергоснабжающих организаций.

Принудительный сдвиг графиков нагрузки электроприемников позволяет снизить заявленный максимум активной мощности, способствует снижению колебаний напряжения в питающей сети и положительно сказывается на условиях эксплуатации. Возможность принудительного сдвига во времени графиков нагрузки ограничивается с возрастанием числа установок. Преднамеренный сдвиг графиков работы печей без существенных затрат может быть произведен при совместной работе двух ЭУ. Такой вариант широко применяется в комплексе с установками непрерывной разливки стали. Функционирование двух приемников осуществляется так, чтобы период расплавления одного накладывался на период рафинирования или простоя другого. При этом наблюдается наибольшее снижение суммарной мощности, а уровень напряжения практически соответствует значению при работе одной ЭУ. Если число установок в группе составляет три и более, то на функционирование установок начинают оказывать влияние вероятностные факторы.

Простои ЭУ между циклами не нарушают технологического процесса, а лишь вызывают необходимость более длительного разогрева в первый период плавки. На основании этого предлагается использовать ЭУ в качестве потребителей-регуляторов, которые выбираются с учетом электрических режимов установок, стремясь свести к минимуму потери промышленного производства. Рекомендуется использовать установки средней и большой мощности. Они имеют малую теплоотдающую поверхность на одну тонну стали и сравнительно медленно остывают. Техничко-экономические показатели регуляторов ниже, чем у установок функционирующих круглосуточно. После отключения производительность падает до нуля. Это вызывает возрастание тепловых потерь. В связи с этим мощность, потребляемая в следующий после простоя период, будет превышать номинальное значение. Остановка установки во время завалки или плавления не приводит к продолжительному дополнительному простоя, а в период окисления или рафинирования может вызвать затвердевание металла, что выразится в значительных убытках. Отключение электроприемников производится в оп-

ределенной очередности. Чем позднее запущена ЭУ, тем более целесообразным с точки зрения технологического процесса её отключения. В первую очередь отключаются установки, находящиеся на начальных стадиях расплавления, а в последнюю – в периодах окисления и рафинирования. Регулирование суточной производительности можно осуществлять путем изменения межплавочного простоя. Оптимальным является случай совпадения останова ЭУ и межплавочного простоя, при котором период простоя минимален. В обратном случае его длительность может быть максимальной. Целесообразным является проведения малых ремонтных работ установок и вспомогательных устройств в часы пиков нагрузок [3].

Авторами [2] предлагается способ разделения во времени периодов расплавления группы установок, при котором не происходит их наложения друг на друга. Электроприемники запускаются последовательно друг за другом после запуска предыдущего, т.е. после полного окончания плавки. Согласование производится для всех установок входящих в группу независимо от их количества. Задержку по времени запуска ЭУ вычисляют по выражению

$$\Delta t_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n \left[(n-i+1) (t_{p(i)} + t_{n(i)} + t_{d(i)} + \Delta t_{(i)}) + t_{np(i)} \right] + (t_{p(n)} + t_{n(n)} + t_{d(n)} + \Delta t_{(n)} + t_{np(n)})}{\sum_{i=1}^n i},$$

где Δt_{Σ} – задержка по времени;

t_p – средняя длительность расплава, мин.;

t_n – средняя длительность плавления, мин.;

t_d – средняя длительность доводки, мин.;

Δt – среднее отклонение процесса плавки, мин.;

t_{np} – средняя длительность простоя печи, мин.;

i – номер элемента группы;

n – количество ЭУ в рассматриваемой группе.

По сравнению с неупорядоченным функционированием печей это способствует более равномерному разнесению максимума потребления активной и реактивной мощностей, повышению производительности, снижению удельного расхода электроэнергии и негативного воздействия на питающую сеть.

На основании проведенного анализа следует отметить о целесообразности широкого применения согласования режимов функционирования группы ЭУ. На практике отмечается об ограничении возможности принудительного сдвига графиков нагрузки при увеличении количества установок в группе, но не выявлено каких-либо конкретных условий. Вероятность наложения периодов расплавления уменьшается с возрастанием числа ЭУ в группе, следовательно, в ряде случаев достаточно производить согласование графиков нагрузки только части из них. В некоторых случаях утверждается о целесообразности проведения мелких ремонтных работ и профилактических осмотров в часы максимума нагрузки. Однако это не учитывается в существующих методах согласования графиков нагрузок электроустановок.

В настоящее время является актуальной разработка методики регулирования графиков нагрузки группы установок электротермии с учетом их количества. При этом необходимо выявить компромиссное решение, исходя из следующих положений: наибольшая производительность при наименьшем потреблении электроэнергии, минимальное воздействие на питающую сеть, снижение пиковых нагрузок и повышение коэффициента загрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Шпиганович, А.Н. Электроснабжение металлургических предприятий: монография / А.Н. Шпиганович, К.Д. Захаров. -Липецк: Липецк. гос. техн. ун-т, 2006. -568 с.

2 Пат. 2338338 Российская Федерация, МПК7 Н 05 В 7/148, F27В 3/28. Способ регулирования реактивной мощности, потребляемой группой дуговых электропечей / Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А., Захаров К.Д., Зацепина В.И., Зацепин Е.П., Шилов И.Г.; заявитель и патентообладатель Ленингр. гос. техн. ун-т. -№2007112074/02; заявл. 02.04.07; опубл. 10.11.08, Бюл. №31. -6 с.: ил.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: режим функционирования, группа электроустановок, согласование графиков нагрузки

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Зацепин Евгений Петрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

Шурыгин Юрий Анатольевич, ассистент ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ УТЕЧКИ

ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

С.А. Филимонов

ESTIMATION OF EFFICIENCY OF MEANS OF AUTOMATIC INDEMNIFICATION OF CAPACITOR CURRENTS OF LEAK
«Lipetsk state technical university»
S.A. Filimonov

Technical possibility and urgency of transition of operation of electric networks 6-10-35 kV with indemnification of capacitor and active components of a current of single-phase short circuit on the earth are considered

Keywords: automatic indemnification, capacitor currents of short circuit, efficiency of protection

Рассмотрена техническая возможность и актуальность перехода эксплуатации электрических сетей 6-10-35 кВ с компенсацией емкостных и активных составляющих тока однофазного замыкания на землю.

Системы защиты от однофазных замыканий на землю предназначены для повышения эффективности электроснабжения потребителей, организации защитных устройств в сетях 6 кВ при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ), а также снижения потерь при повреждении изоляции кабельных линий (КЛ). Область применения – сети 6 кВ с изолированной и компенсированной нейтралью подстанций как средство повышения безотказности электроснабжения и повышения качества электроэнергии в воздушных и кабельных линиях. Принципиальная схема систем защиты приведена на рисунке 1.

Основной смысл мероприятия компенсации емкостных токов – быстрая минимизация напряжения в поврежденной фазе. Главный элемент системы – автоматический минимизатор токов и напряжений, представленный автокомпенсатором емкостных и активных токов промышленной частоты. Управляемым объектом выступает контур нулевой последовательности сети (КНПС): с параметрическими возмущениями (суммарной емкостью C и активной проводимостью изоляции сети g) и управлениями (индуктивностью дугогасящего реактора L и активным сопротивлением нейтрали R). Система управления содержит датчик выходных координат объекта и двухканальный регулятор с управлениями $y_1(t), y_2(t)$, которые воздействуют на входы исполнительных ор-

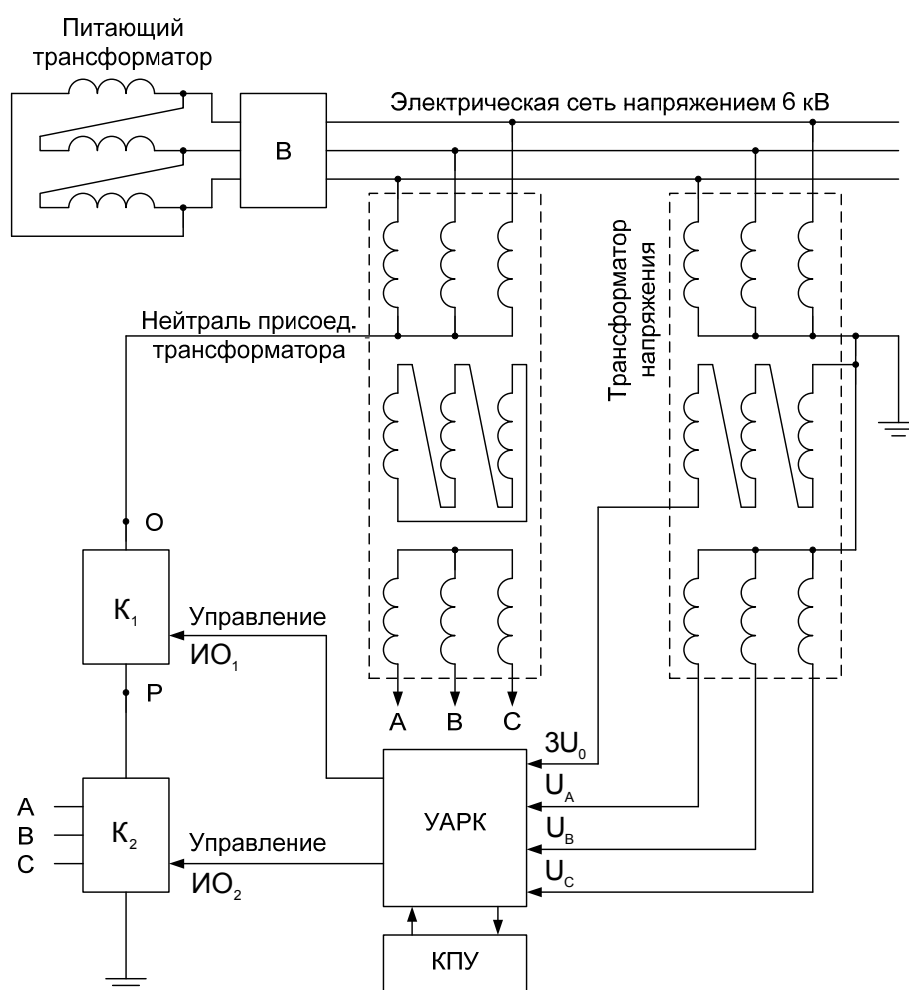


Рисунок 1 – Схема подключения к сети элементов системы защиты

ганов $ИО_1, ИО_2$ системы. Исполнительные органы играют роль преобразователей управлений в рабочие воздействия $L(t)$ и $R(t)$ на объект для достижения поставленной цели. $ИО_1$ – это компенсатор K_1 емкостного тока однофазного замыкания на землю, состоящий из плунжерного дугогасящего реактора (ДГР) и исполнительного устройства $ИУ_1$ для управления. $ИО_2$ – компенсатор K_2 активного тока однофазного замыкания.

Инвертор выполняет роль силового элемента в контуре нелинейного отрицательного сопротивления, величина которого регулируется напряжением на выходе выпрямителя. Отдаваемая инвертором энергия расходуется на возмещение потерь в активном сопротивлении нейтрали и в активных проводимостях изоляции сети. Этим достигается компенсация активной составляющей тока ОЗЗ. Если предполагается программное изменение режима нейтрали, то следует добавлять блок координации поиска и управления режимом нейтрали и аппарат поиска повреждений. Указанная система содержит устройства селективной сигнализации и защиты от замыканий фазы на землю, которые и ставятся в присоединениях. При этом экспериментальные и опытные образцы системы защиты от замыканий на землю с комплектом аппаратуры УАРК работоспособны во всех режимах работы сети, а именно [1]:

- нормальная эксплуатация электрической сети (режим «А»);
- глухое однофазное замыкание на землю (режим «В»);
- режим перемежающегося дугового ОЗЗ (режим «С»).

При дуговом замыкании на землю происходит полное гашение дуги, сопровождающееся обрывом тока в месте повреждения изоляции кабеля при уровне пятой гармоники. Время безотказного электроснабжения с однофазным замыканием определяется допустимым временем работы ДГР. Предварительная настройка с регулированием наблюдается только однократный пробой изоляции. Время минимизации напряжения на фазе в режиме «С» только по емкостной составляющей равно 0,25 с. Время минимизации с предварительной настройкой и по емкостной, и по активной составляющей составляет 0,07 с. Время минимизации тока через место замыкания в режиме «В» с предварительной настройкой обоих контуров зависит от величины сопротивления замыкания. Нормальное функционирование системы с емкостью 25,6 мкФ [2] режима «В» наблюдается при сопротивлениях замыкания в диапазоне от 10 Ом до 7 кОм. Амплитуда первой гармоники остаточного напряжения на поврежденной фазе в режиме «С» равна 233 В. Погрешность резонансной настройки КНПС в режиме нормального функционирования сети при поисковой частоте 6,25 Гц, равна 1%. Время автоматической компенсации по емкостной составляющей при использовании плунжерного ДГР определяется его быстродействием. Введение поисковых сигналов в режиме «А» сопровождается снижением добротности контура. При этом необходимо, чтобы напряжение смещения нейтрали не выходило за допустимую величину (15% от фазного).

Резонансное заземление нейтрали в распределительных сетях 6-35 кВ является уникальным высокоэффективным средством борьбы с однофазными замыканиями на землю. Этому служит гашение дугового процесса и перевод замыканий в самоликвидирующиеся на изоляции сетей и гальванически связанной нагрузки. При этом создаются условия повышения ресурса (срока службы) изоляции как сети и нагрузки.

Эффективность работы сетей 6-35 кВ с точной настройкой резонансного заземления нейтрали следует оценивать количеством однофазных замыканий на землю, переходящих в междофазные. Опытные данные [2] свидетельствуют об уменьшении вероятности переходов в 1,8-2,3 раза. Функциональная схема системы изменяется в зависимости от режима работы сети по сигналам с блока управления.

Целью системы в режиме «А» служит резонансная настройка КНПС, что обеспечивает готовность контура компенсации емкостной составляющей минимизировать напряжения и токи ОЗЗ в режимах «В» и «С». Резонансную настройку обеспечивает самонастраивающаяся система (СНС) с периодической поисковой модуляцией. КНПС подвергается воздействию и координатного, входного сигнала – тока $\theta(t)$ несимметрии сети, параметрических возмущений по емкости C и проводимости g , параметрического управления L , а также параметрических поисковых колебаний δ активного сопротивления $R(t)$ в нейтрали сети. Модуляция сопротивления R производится поисковым сигналом прямоугольной формы с частотой Ω , поступающим с выхода генератора поисковых и опорных сигналов (ГОПС). При этом периодическому изменению подвергается добротность объекта, что вызывает модуляцию фа-

зы $\varphi(t)$ и частоты $\omega(t)$ тока, протекающего в нейтрали. Последний является выходной координатой объекта и входной координатой регулятора в нормальном режиме «А» эксплуатации сети. Ток подается на вход частотного детектора сигналов поиска, выделяющего из частотно-модулированного тока $I(t)$ составляющую с частотой Ω , которая содержит информацию о резонансе. Она отфильтровывается, и усиливается усилителем поисковых сигналов (УПС), поступает на вход сдвоенного синхронного детектора с коррекцией (СДК). Он формирует управляющий сигнал $V(t)$. Знак и величина сигнала определяется знаком и величиной расстройки по КНПС. Описанная выше структура СНС, обладает наибольшей универсальностью по сравнению с другими типами автоматической настройки компенсации в режиме «А». Функции модулятора сопротивления R выполняет силовой модуль блока $ИО_2$ со схемой, преобразованной по сигналу с блока управления [2].

Сигнал, подаваемый на вход частотного детектора, также снимается с силового модуля. Он включает релейный усилитель, частотнозависимую цепь и амплитудный детектор. Блок УПС выполнен в виде последовательно включенного активного полосового фильтра 2-о порядка, настроенного на поисковую частоту Ω и пассивного режекторного фильтра, настроенного на 3Ω .

Блок СДК содержит два параллельных канала. Каждый из них имеет последовательное релейное звено с сумматором, множительное звено и фильтр низких частот. Выходы каналов объединяются в устройстве выделения максимального уровня сигналов. На остальные входы сумматоров от ГОПС подаются корректирующие сигналы гармонической формы. В блоке формируется релейный опорный сигнал множительных звеньев блока СДК. Регулировкой амплитуд, фаз корректирующих сигналов, фазы опорного сигнала можно добиваться заданной точности (погрешность не более 5%) и динамики резонансной настройки. УУ₁ ДГР плунжерного типа представляет релейное звено с зоной нечувствительности и с сумматором на входе. На него, кроме $V(t)$, подается пилообразный линейаризующий сигнал 3 Гц. Функциональная схема двухканальной автокомпенсации емкостных и активных токов в режимах «В» и «С» дана на рисунке 2.

Входной координатой для объекта управления служит напряжение источника поврежденной фазы $E_s(t)$. Возмущениями являются параметры C и g . Другие возмущения включают ток $\theta(T)$ несимметрии сети и сопротивление R_0 места замыкания. Самонастройка в режимах «В» и «С» достигается посредством параметрических управлений $y_1(t)$ и $y_2(t)$ параметрами L и R . При построении замкнутых контуров самонастройки (контуров автоматической компенсации емкостной и активной составляющих соответственно) использован фазовый способ выделения полезной информации. Это позволило избежать распознавания

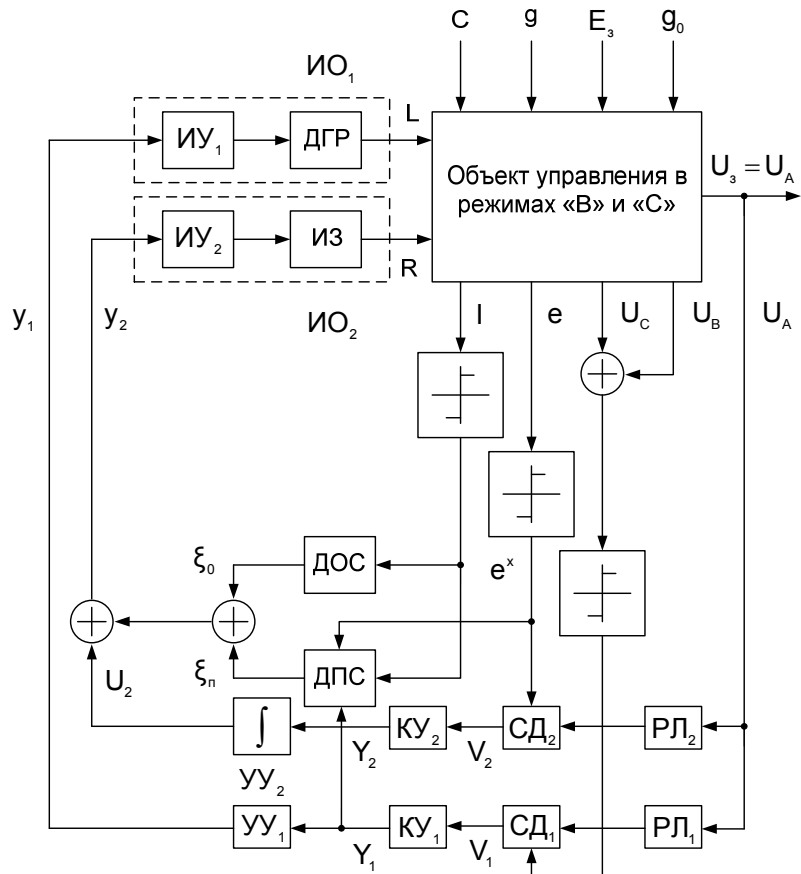


Рисунок 2 – Функциональная схема двухканальной автоматической системы управления напряжением поврежденной фазы «В» и «С»

каждого из режимов. Входным сигналом для каналов L и R является напряжение $U_s(t)$. Оно поступает на релейные звенья с линеаризацией PL_1 и PL_2 , играющие роль усилителей-ограничителей при больших напряжениях U_s [3].

Линеаризация осуществляется по сигналам пилообразной формы с частотой 1 кГц, вырабатываемым специальным генератором. Информация о величине и знаке расстройки извлекается при помощи синхронных детекторов CD_1 и CD_2 . В качестве опорных используются релейные сигналы, совпадающие по фазе соответственно с линейным напряжением между «здоровыми» фазами и напряжением смещения нейтрали. Линейное напряжение восстанавливается алгебраическим суммированием (с соответствующими знаками) напряжений $U_B(t)$ и $U_C(t)$ на «здоровых» фазах.

Переход к эксплуатации сетей 6-10-35 кВ с компенсацией емкостных и активных составляющих тока обеспечивает наиболее рациональное построение систем электроснабжения. На текущий момент большинство автокомпенсаторов емкостных токов не имеют повсеместного внедрения и носят испытательный характер. Тем не менее, разработка рассмотренных аппаратных комплексов является наиболее перспективным направлением в отношении оптимизации режимов работы нейтралей сетей 6-10-35 кВ с резонансным заземлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Обабков, В.К. Возможности создания быстродействующего линейного дугогасящего реактора для сетей 6-35 кВ с компенсацией емкостных токов / В.К. Обабков, Н.Е. Обабкова // Перспективные направления в развитии энергетики. -Москов. обл., 1999. -С. 108-113.

2 Обабков, В.К. Синтез адаптивных систем управления резонансными объектами / В.К. Обабков. -Киев: Наук. думка, 1993. -254 с.

3 Гуров, Н.П. Актуальность и внедрение автоматически управляемой компенсации емкостных токов в сетях 6 кВ металлургических предприятий / Н.П. Гуров, В.Г. Сажаев // Пром. энергетика. -2003. -№7.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *автоматическая компенсация, емкостные токи короткого замыкания, эффективность защиты*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Филимонов Сергей Александрович, аспирант ГОУ ВПО «ЛПГУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»*

КОМПЛЕКС ГИБРИДНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТ ИСКАЖЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ

ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

В.И. Зацепина, И.Г. Шилов, А.Н. Мамонтов

COMPLEX OF HYBRID DYNAMIC PROTECTION OF ELECTRO SUPPLY OBJECTS FROM VOLTAGE DISTORTIONS

«Lipetsk state technical university»

V.I. Zatsepina, I.G. Shilov, A.N. Mamontov

In article possibility of creation of a complex of hybrid dynamic protection of electro supply objects from peak-phase distortions of voltage and structure of construction of its systems are considered.

Keywords: peak-phase distortions of voltage, dynamic protection, electro supply

Рассмотрена возможность создания комплекса гибридной динамической защиты объектов электроснабжения от амплитудно-фазных искажений напряжения и структура построения его систем.

Текущий момент развития электроэнергетических объектов в России характеризуется острой проблемой как нерационального потребления, так использования электроэнергии. Сложившаяся ситуация приводит к росту требований относительно обеспечения непрерывного электроснабжения в сочетании с нормализацией показателей качества электроэнергии [1]. Однако, создание, и эксплуатация системы, характеризующейся 100% вероятностью безотказной работы, сегодня технически и экономически невозможно в силу наличия отказов электрооборудования и воздействия электромагнитных помех, сопровождающихся и непостоянными амплитудно-фазными искажениями напряжения. Увеличивается вероятность

возникновения аварийных системных режимов. Приемники электроэнергии испытывают внезапные перерывы в электроснабжении, что приводит к значительным убыткам от вынужденных простоев технологических процессов и электрических потерь.

В этой связи целесообразным служит разработка автономного комплекса гибридной динамической защиты систем электроэнергетических объектов, которые характеризуются сложной иерархичностью структуры, наличием областей неопределенных критических возмущений и электромагнитных помех с ненормализованными показателями качества электроэнергии, а также жесткими условиями по непрерывности протекания технологического процесса.

Подробный анализ причинно-следственных связей сетевых нарушений отражает предпосылки лавинообразного развития аварий, среди которых более 75% составляют амплитудно-фазные искажения напряжения (АФИН): провалы (просадки) напряжения; перенапряжения; искажения формы кривой напряжения из-за присутствия высших гармонических составляющих. На сегодняшний день эти параметры нормируются [2], в котором, тем не менее, не регламентированы технические решения защиты, а лишь указаны статистические показатели длительности их воздействия в системе. Известные подходы минимизации АФИН, в том числе в мировой практике, основаны на снижении суммарного времени перерыва подачи электроэнергии за счет ухудшения ее качества, что с позиции потребителя не является решением сложившейся проблемы, а только уходом от нее. Это подтверждают исследования, производственные эксперименты. Результаты показывают, что вероятность возникновения АФИН, их динамика и длительность зависят от топологии системы электроэнергетических объектов. Однако, и технологические циклы характеризуются жесткими требованиями по соблюдению заданной непрерывности электроснабжения, в общем случае не допускающие более одного перерыва питания в год. С другой стороны, на практике дело обстоит совсем не так, как предусматривает технология. Эти факторы сдерживают создание универсальных способов защит стратегических объектов электроэнергетической отрасли России. Поэтому приоритетным решением данной проблемы является разработка моделей системы динамического подавления АФИН. Для обеспечения устойчивого восстановления электроснабжения в аварийных ситуациях, вызванных непостоянным действием АФИН, предлагается комплекс гибридной динамической защиты (КГДЗ) на рисунке 1.

Предлагаемый комплекс КГДЗ включает универсальные разработки, представляющие автономные блоки защиты систем электроэнергетических объектов – динамического восстановления напряжения (ДВН); динамической компенсации перенапряжений (ДКП) и динамической компенсации высших гармоник (ДКВГ). Каждое из устройств характеризуется уникальными свойствами и наборами выполняемых задач, не имеющими аналогов. В комплекс входят функционально-измерительные контроллеры, отвечающие за диагностику качественных характеристик функционирования электроэнергетической системы объекта: анализаторы показателей безотказности электроснабжения (АПБЭ) и качества электроэнергии (АКЭЭ). Эти блоки адаптированы к многофункциональному режиму контроля и учета за счет возможности их объединения с программным обеспечением энергетического мониторинга типа ION Enterprise или SCADA-системами.

Задачей исполнительных устройств ДВН, ДКП, ДКВГ служит оперативное динамическое подавление характерных АФИН на основе совместного функционирования в активном режиме и режиме ожидания аварии по специально разработанным способам управления. Следует особенно отметить тот факт, что на один из этих трех способов коллективом кафедры ЭО получен патент РФ на изобретение, по двум остальным уже поданы заявки. При

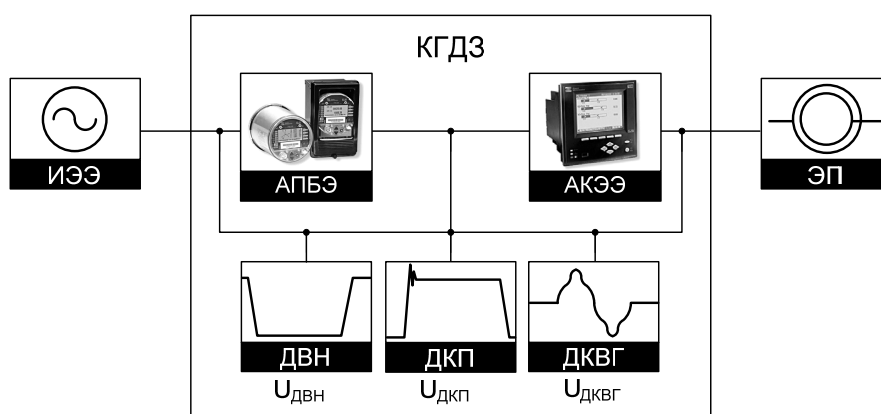


Рисунок 1 – Общая схема комплекса гибридной динамической защиты

этом каждый из блоков может предусматривать независимую защиту распределительной сети на любых участках систем между источником электроэнергии (ИЭЭ) и электроприемником (ЭП), что однозначно расширяет области функционального применения КГДЗ.

В целях реализации алгоритмов идентификации АФИН предлагается разрабатывать систему активного контроля изменения параметров формы кривой питающего напряжения (САКИФН) по амплитудному значению U_m и углу фазового сдвига φ в реальном времени, которая осуществляет с исследуемой (диагностируемой) системой электроснабжения ДСЭС параметрический обмен функциональными признаками АФИН по прямой или обратной связи. Структура построения систем динамического подавления АФИН изображена на рисунке 2.

Система обязательно содержит блок реализации алгоритмов идентификации АФИН и блок моделей управления динамическими процессами их подавления (МУПДП). Блок реализации алгоритмов идентификации функционально разделен на модули для структурного и параметрического синтеза отличительных признаков по АФИН для формирования моделей управления в МУПДП. При этом идентифицируемыми параметрами АФИН выступают: максимальное и допустимое изменение амплитуды напряжения U_m , его предельная длительность t_u , времени начала и окончания процесса искажения t_{u1}, t_{u2} , кратность искажения амплитуды K_u и угол фазового сдвига основной синусоиды напряжения φ . САКИФН воспринимаются указанные параметры АФИН, оценивается критичность их присутствия в системах электроснабжения и формируется функциональная база по реализации основ параметрического синтеза, представленная на рисунке 2 в виде модуля (МПС).

Другой важной составляющей при построении систем подавления выступают процессы в формировании базы модуля структурного синтеза (МСС). Это позволяет определить и зафиксировать топологию АФИН согласно с идентифицируемыми параметрами МПС. В реализации структурного и параметрического синтеза имеется возможность выразить, а затем оптимизировать математическую модель управления процессами динамического подавления известных АФИН (МУПДП), в которой выражаются динамические процессы компенсации случайных электромагнитных возмущений в целях эффективной стабилизации формы кривой питающего напряжения.

Разработка основ структурного и параметрического синтеза модулей систем активного подавления амплитудно-фазных искажений напряжения ориентирована на достижение следующих результатов:

- создание алгоритмов идентификации амплитудно-фазных искажений напряжения для построения систем их активного подавления;
- разработка моделей управления процессами динамического подавления случайных электромагнитных возмущений;
- создание уникальных автономных устройств динамического подавления всех известных амплитудно-фазных искажений напряжения, предназначенных для построения защиты критических областей системы;
- разработка и внедрение комплекса гибридной динамической защиты систем электроэнергетических объектов для достижения и стабилизации устойчивого уровня восстановления электроснабжения посредством полного устранения непостоянного действия электромагнитных помех.

Ценность комплекса состоит в разработке программного аппарата и способов практиче-

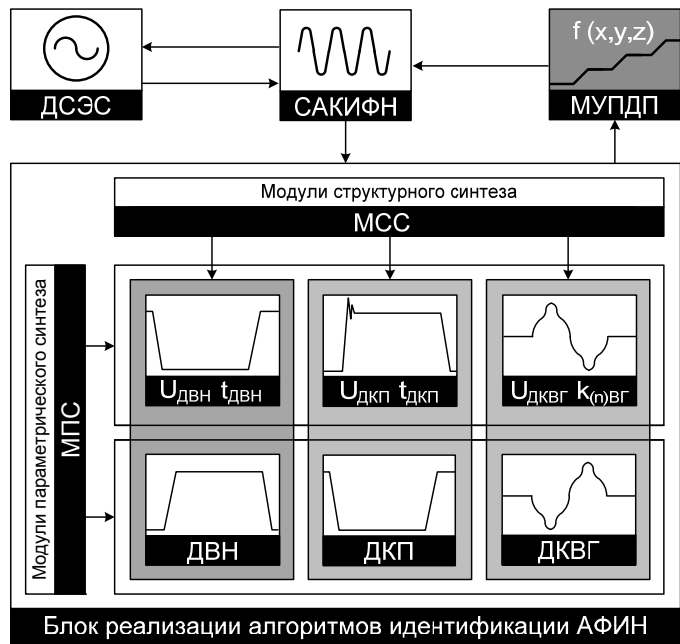


Рисунок 2 – Структура построения систем динамического подавления АФИН

ской реализации алгоритмов динамического подавления искажений напряжения, отличающихся структурами в идентификации сетевых электромагнитных возмущений на базе широко-импульсной модуляции для стабилизации формы кривой напряжения (на уровнях не менее 98%) и в обеспечении безотказности электроснабжения объектов за счет совместного применения средств энергетического мониторинга во всех узлах динамической защиты с активной нормализацией показателей качества электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Шпиганович, А.Н. Внутривзаводское электроснабжение и режимы: учеб. для высш. учеб. заведений / А.Н. Шпиганович, К.Д. Захаров. -Липецк: Ленингр. гос. техн. ун-т, 2007. - 742 с.

2 ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Введ. 1999-01-01. -М.: Изд-во стандартов, 1999. -31 с.: ил.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: амплитудно-фазные искажения напряжения, динамическая защита, электроснабжение

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Зацепина Виолетта Иосифовна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «ЛГТУ»

Шилов Илья Геннадиевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «ЛГТУ»

Мамонтов Антон Николаевич, аспирант ГОУ ВПО «ЛГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

АНАЛИЗ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

А.Н. Шпиганович, К.Д. Захаров; К.А. Пушница

THE ANALYSIS OF SWITCHING OVERVOLTAGES CAUSED BY SWITCHING OF ELECTRIC MOTORS OF CYCLIC PRODUCTIONS

«Lipetsk state technical university»

A.N. Shpiganovich, C.D. Zakharov; K.A. Pushnitsa

Switching overvoltage's caused by switching of electric motors by vacuum circuit breakers is considered. Describe the construction of a simulation model in the package «Matlab» and the results of its work. Recommendations are given for protection against overvoltage's.

Keywords: switching overvoltage's, electric motor, model, research, protection against overvoltage's

Рассмотрены коммутационные перенапряжения, возникающие при отключении электродвигателей вакуумными выключателями. Описывается построение имитационной модели в пакете «Matlab» и приводятся результаты ее работы. Даны рекомендации по защите от перенапряжений.

При отключении вакуумными выключателями электродвигательных присоединений, возникают значительные перенапряжения, вызванные срезом тока и эскалацией напряжения. Также при срабатывании вакуумных выключателей возможно явление многократных повторных зажигания дуги, что приводит к возникновению перенапряжений имеющих высокочастотный характер. На сегодняшний день отсутствуют эффективные меры их гашения. Разрядники, нелинейные ограничители перенапряжений, искровые промежутки как средство защиты от высокочастотных перенапряжений малоэффективны. Вызвано это резким подъемом их вольт-секундных характеристик при предразрядных временах менее 1 мкс.

Для исследования перенапряжений была построена имитационная модель, учитывающую как особенности выключателя, так и остальной части цепи. Типовой схемой является питание приемников через промежуточные распределительные подстанции (РП), то есть схема: трансформатор-линия-РП-линия-приемник, где в качестве приемника выступает асинхронный двигатель. Расчетная схема фрагмента системы электроснабжения приведена на рисунке 1.

Питание главная понизительная подстанция (ГПП) получает от РП энергосистемы, по данным документов ГПП, индуктивное сопротивление системы и соединительных кабелей составляет 2,835 Ом, а активное 0,113 Ом. От энергосистемы электроэнергия поступает на трансформаторы типа ТДЦТНК. Выводы трансформатора соединены с шинами через реакторы типа РБСДГ 10-2-2500-0,2 и РБДГ 10-4000-0,18. Для дальнейшей передачи используются кабельные линии типа ААШВ. В качестве конечного приемника электрической энергии

выступает асинхронный двигатель. Нагрузки S_1, S_2, S_3, S_4 имеют следующие значения (МВА):

$$S_1 = 4,64 + j(2,48 - 0,841); S_2 = 5,7 + j(2,6 - 0,852);$$

$$S_3 = 0,688 + j0,333; S_4 = 11,95 + j(7,08 - 3,2).$$

Для построения имитационных моделей элементов используется пакет Matlab. Пакет позволяет моделировать сложные электроэнергетические системы, сочетая методы имитационного и структурного моделирования.

При моделировании кабельной линии необходимо учитывать активные и индуктивные сопротивления проводов, а также проводимости и емкости как между фазой и землей, так и между фазами. Также для лучшего приближения будем учитывать то, что емкость и индуктивность равномерно распределены вдоль длины линии. Таким требованиям отвечает блок Distributed Parameters Line – линия с распределенными параметрами.

Блок Distributed Parameters Line моделирует 3-х фазную линию электропередачи с помощью метода бегущих волн. В модели потери распределенной линии характеризуются двумя значениями: волновым сопротивлением линии Z_c и фазовой скоростью волны v . Модель использует тот факт, что величина $e + Z_i$ (где e – напряжение; i – ток линии) подаваемая на один конец линии должна без изменения прибывать на другой конец линии после временной задержки $\tau = d/u$, где d – длина линии. Сосредоточенные потери $R/4$ на концах линии и $R/2$ в центре, с использованием метода инжектирования тока, примененного в Matlab приводят к 2-х портовой модели. Для многофазной линии используется модальная трансформация, переводящая фазные параметры линии (токи и напряжения) в модальные величины независимые друг от друга. Предварительные расчеты производятся в модальной области, после чего величины обратно конвертируются в фазные значения.

Для моделирования трехфазного трехобмоточного трансформатора ТДЦТНК воспользуемся блоком Three-Phase Transformer (Three Windings). Модель построена на основе трех однофазных трансформаторов. Нелинейная характеристика в модели задается как кусочно-линейная зависимость между магнитным потоком сердечника и током намагничивания.

Моделирование нагрузок и конденсаторных батарей осуществлялось с помощью блока 3-Phase Series RLC Load. Блок моделирует трехфазную цепь, состоящую из трех RLC-нагрузок (последовательное соединение резистора, индуктивности и конденсатора). Параметры цепи задавались через мощности фаз при номинальном напряжении и частоте. При моделировании нагрузок, подключенных рядом с коммутируемым присоединением (нагрузка S_3 см. рисунок 1) учитывалась также ее емкость (суммарная емкость шин и кабелей). Для этого был использован блок Three-Phase Series RLC Branch. Емкость вычислялась как сумма емкости шин и соединительных кабелей.

При моделировании сдвоенного реактора для каждой фазы был использован блок Mutual Inductance. Блок предназначен для моделирования катушек или проводников, имеющих магнитную связь.

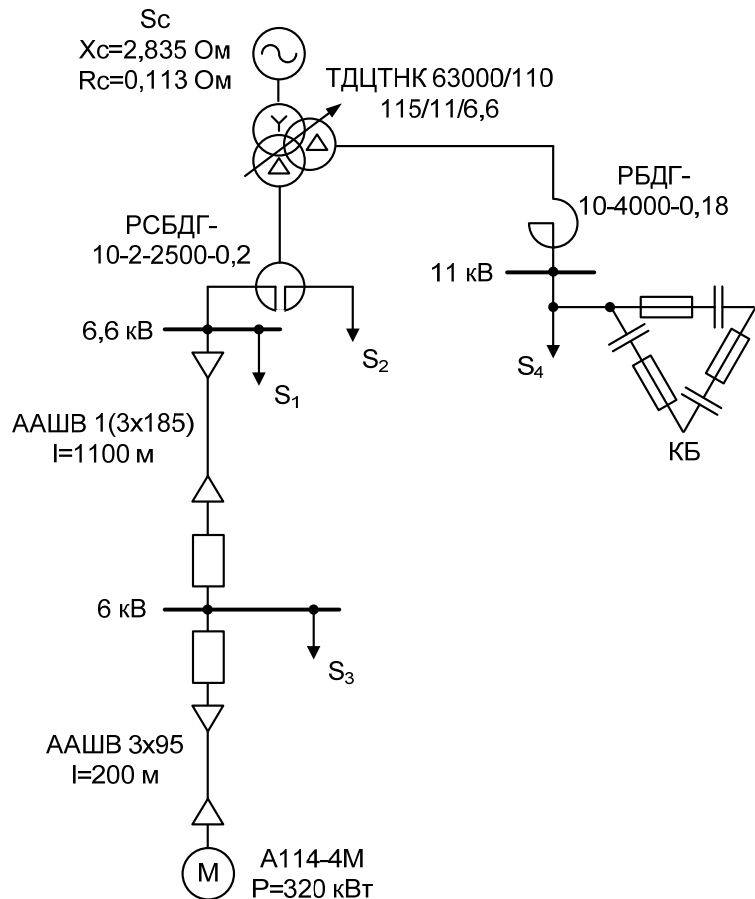


Рисунок 1 – Расчетная схема фрагмента системы электроснабжения

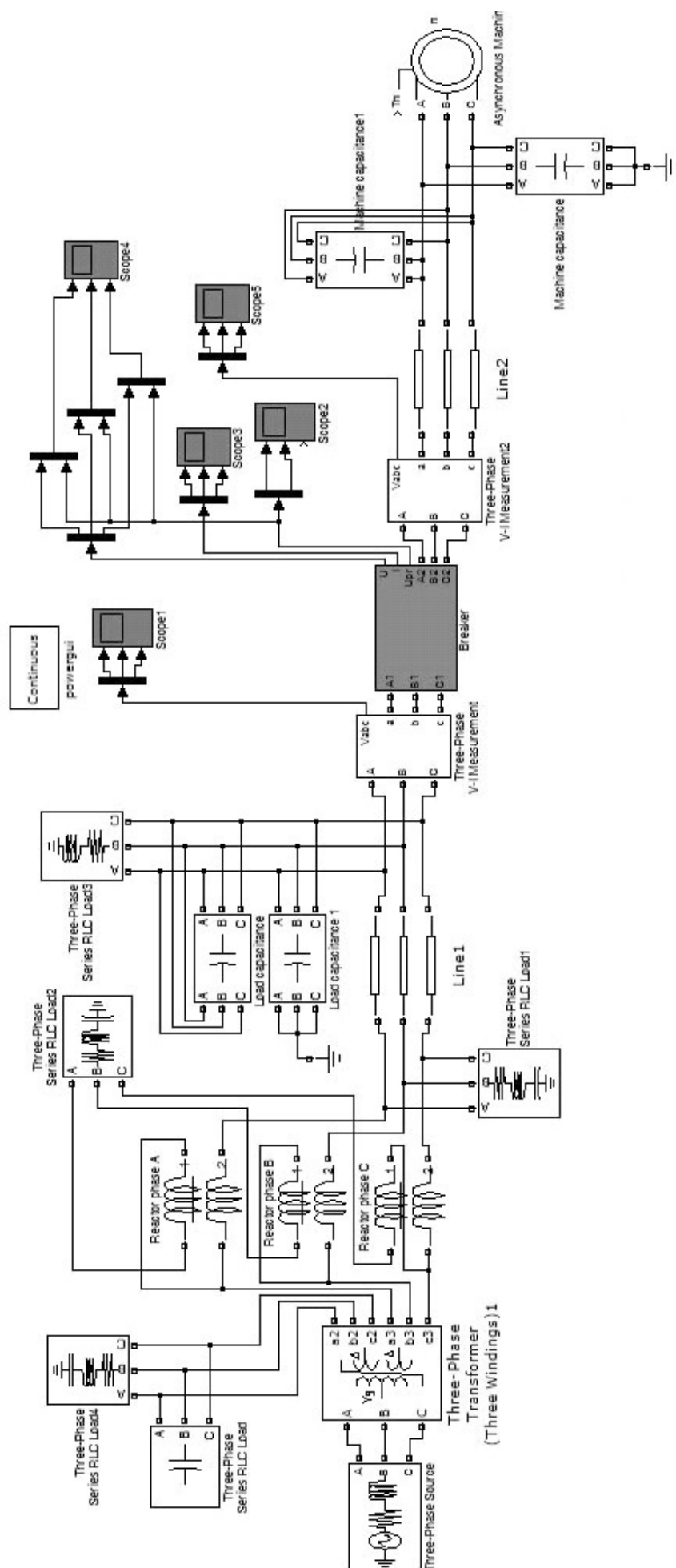


Рисунок 2 – Блок-схема модели исследуемой системы электроснабжения

Асинхронный двигатель моделировался с использованием блока Asynchronous Machine. Блок не учитывает емкостей обмоток, поэтому применялись дополнительные емкости, моделируемые соответствующими блоками. Модель асинхронной машины включает в себя модель электрической части, представленной моделью пространства состояний четвертого порядка, и модель механической части в виде системы второго порядка. Все электрические переменные и параметры машины приведены к статору. Исходные уравнения электрической части машины записаны для двухфазной (dq-оси) системы координат.

В модели выключателя учитываются такие явления, характерные для вакуумного выключателя, как срез тока, эскалация напряжения, повторные зажигания дуги и виртуальные срезы тока.

Общий вид модели представлен на рисунке 2. На рисунке 3 отражена осциллограмма напряжения фазы А на контактах выключателя.

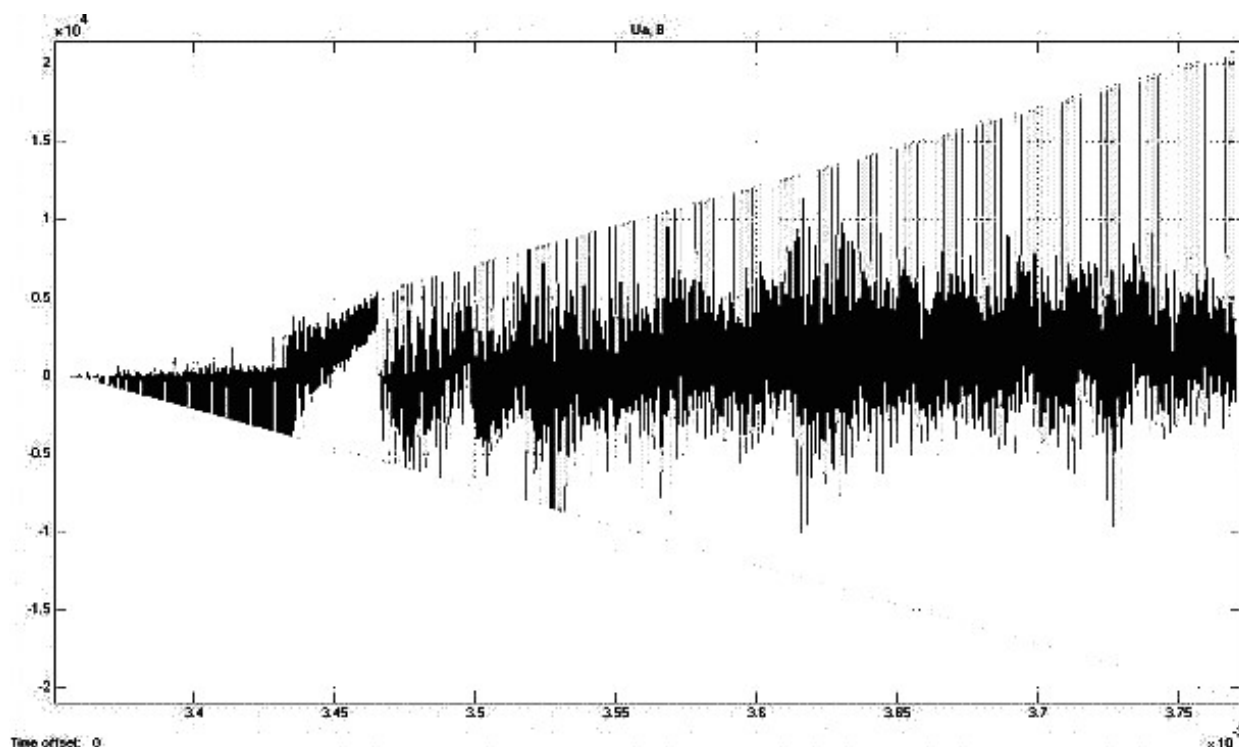


Рисунок 3 – Напряжение на контактах выключателя фазы А

Как видно из рисунка 3 при срабатывании выключателя возникают перенапряжения опасные для изоляции двигателя. В качестве мер защиты от перенапряжений наиболее эффективны ОПН и RC-цепочки, а также их комбинация. При этом применение RC-цепей должно сопровождаться проверкой на модели, так как в некоторых случаях неудачный выбор параметров RC-цепи, может привести к ухудшению режима коммутации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Евдокунин, Г.А. Современная вакуумная коммутационная техника для сетей среднего напряжения (технические преимущества и эксплуатационные характеристики) / Г.А. Евдокунин, Г. Тилер. -СПб.: Изд-во Сизова М.П., 2002. -148 с.: ил.
- 2 Кадомская, К.П. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: учебник / К.П. Кадомская, Ю.А. Лавров, А.А. Рейхердт. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-т, 2004. -368 с.: ил.
- 3 Техника высоких напряжений / Д.В. Разевиг [и др.]; под. общ. ред. Д.В. Разевига. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергия, 1976. -488 с.: ил.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коммутационные перенапряжения, электрический двигатель, модель, исследование, защита от перенапряжений

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шпиганович Александр Николаевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «ЛГТУ»
Захаров Кирилл Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «ЛГТУ»
Пушница Константин Александрович, аспирант ГОУ ВПО «ЛГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОДНОФАЗНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЯХ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Т.Г. Красильникова

THE DEVICE FOR INCREASE OF EFFICIENCY OF SINGLE-PHASE AUTOMATIC RECLOSING IN EHV LINES
«Novosibirsk state technical university»
T.G. Krasilnikova

Devices for balancing of normal conditions of three-phase EHV lines with a horizontal arrangement of phases in space are offered. They represent or the series reactors included in an middle phase in the beginning of lines, or the series capacitor banks included in extreme phases in the middle of lines.

Keywords: EHV line, secondary arc current, compensated reactor, bank of capacitors

Рассматривается устройство для снижения тока подпитки в процессе динамического перехода в паузу однофазного автоматического повторного включения (ОАПВ) до величин, обеспечивающих успешное ОАПВ в пределах секунды.

В дальних электропередачах поток отказов практически полностью определяется авариями на линиях в связи с большой их длиной. При этом в линиях сверхвысокого напряжения (СВН) 500-1150 кВ подавляющая доля отключений вызывается однофазными короткими замыканиями. При эксплуатации линий СВН более половины однофазных коротких замыканий имеют неустойчивый характер, то есть могут быть устранены в цикле ОАПВ, которое относится к важнейшей мере, повышающей надежность электропередач СВН.

Успешность ОАПВ, с одной стороны, определяется характеристикой дуги подпитки, а с другой – эффективностью применяемых на линии способов снижения токов подпитки дуги до значений, при которых самопогасание дуги будет достаточно надежным за время бестоковой паузы ОАПВ [1].

По имеющимся данным среднее время гашения дуги подпитки зависит в основном от величины установившегося тока дуги подпитки [1]. Длительность паузы ОАПВ порядка 1,0-2,0 с обеспечивается, если токи дуги подпитки не превышают 45-75 А (амплитудное значение). При токах 75-80 А следует применять меры по уменьшению тока подпитки. При этом величина восстанавливающегося напряжения не должна превышать половины фазного напряжения линии.

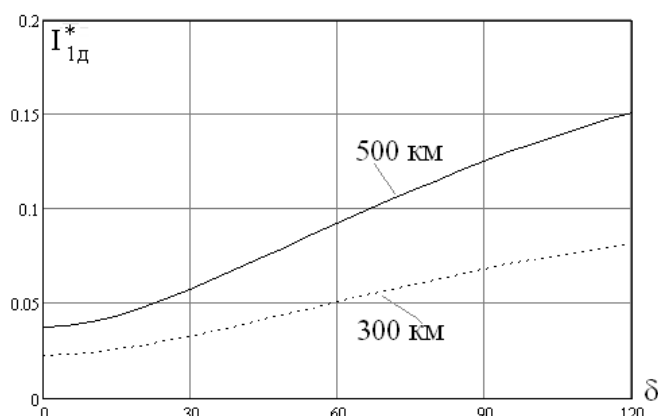


Рисунок 1 – Зависимость тока дуги подпитки от угла между концевыми ЭДС

Таблица – Ток дуги подпитки для линий СВН

Номинальное напряжение, кВ	Длина линии, км	Ток дуги подпитки, А		
		$\delta = 0$	$\delta = \lambda$	$\delta = 3\lambda$
500	300	34	40	69
	500	54	88	140
750	300	55	64	110
	500	83	134	215
1150	300	85	102	177
	500	182	294	470

при длинах 300 и 500 км, которым соответствует электрическая длина линии $\lambda = 0,00108 \cdot \ell$.

Как следует из таблицы, критические значения токов дуги подпитки более 90 А имеют место в основном для линий напряжением 750 и 1150 кВ, особенно при длинах, превышающих 300 км и углах отклонения $\delta \geq \lambda$, что всегда имеет место.

Длина линии, на которой применяется ОАПВ, в определяющей степени сказывается на величине токов дуги подпитки. На рисунке 1 приведены зависимости, характеризующие влияние протяженности линии на ток дуги подпитки, отнесенный к натуральному току линии.

В таблице приведены значения токов дуги подпитки в абсолютных единицах для линий разного класса напряжения

Известно, что для снижения электростатической составляющей тока дуги подпитки необходимо компенсировать частично или полностью междуфазные емкости, а для уменьшения электромагнитной составляющей следует обеспечить компенсацию емкостей на землю. Эти обе задачи обычно решаются с помощью шунтирующих реакторов [2]. Снижение токов дуги подпитки достигается подключением в нейтрали установленных на воздушных линиях шунтирующих реакторов (ШР) специальных компенсационных реакторов (КР), как это показано на рисунке 2.

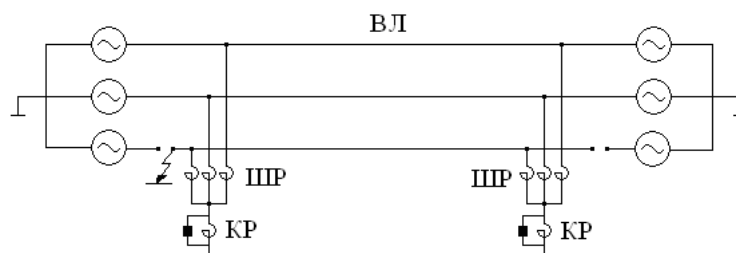


Рисунок 2 – Схема ВЛ с одинаковым количеством реакторов по концам линии

Для линии длиной 300 км, имеющей по одному реактору в концевых точках линии, на рисунке 3 приведена зависимость тока дуги подпитки от величины сопротивления компенсационного реактора.

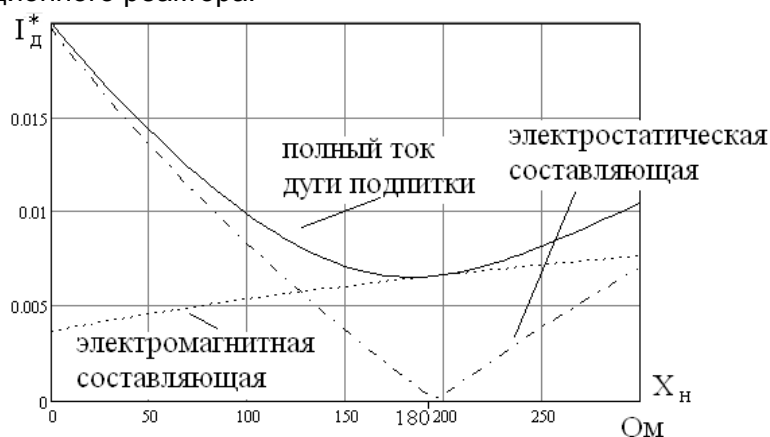


Рисунок 3 – Определение оптимального сопротивления компенсационного реактора

Оптимальное сопротивление компенсационного реактора составляет 180 Ом. При этом ток дуги подпитки в относительных единицах при угловом сдвиге $\delta = 3\lambda$ составляет $I_d^* = 0,0065$ (абсолютное значение тока дуги подпитки для линии 750 кВ составит $I_d = 15$ А). Для реакторов 500 и 750 кВ в нейтраль включают один КР, обычно с сопротивлением 180 Ом [3].

В линиях в диапазоне длин 350-500 км общее число реакторов, как правило, нечётное. При разном количестве реакторов по

концам линии компенсация тока дуги подпитки в линии имеет особенности. Для примера на рисунке 4 представлена ВЛ длиной 500 км, имеющая разное число реакторов по концам линии.

Когда КЗ имеет место в конце линии, в компенсации тока дуги подпитки участвует два реактора. В этом случае ток дуги подпитки при угловом сдвиге $\delta = 3\lambda$ не превышает 22 А для ВЛ 750 кВ, что гарантирует успешное гашение дуги в пределах 1 с. Если КЗ имеет место в начале линии, то в компенсации тока дуги подпитки участвует лишь один реактор. В этом случае ток дуги подпитки при угловом сдвиге $\delta = 3\lambda$ превышает 110 А, что исключает успешное гашение дуги. Обеспечить гашение дуги подпитки при длительности паузы ОАПВ в пределах 1,0 с для ВЛ напряжением 750 кВ при длинах более 350 км можно путем установки второго ШР в конце линии. Однако это является дорогостоящей мерой.

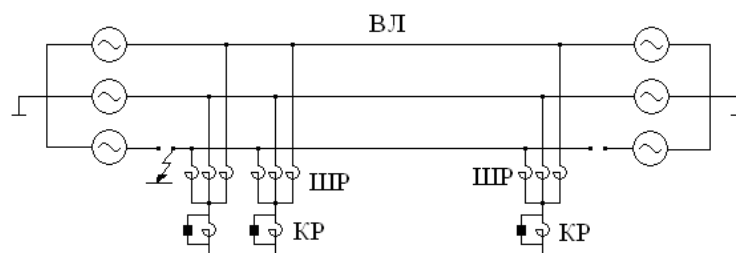


Рисунок 4 – Схема ВЛ с разным количеством реакторов по концам линии

Для компенсации токов дуги подпитки можно обойтись одним реактором в конце линии, если последовательно в каждой фазе со стороны нейтральных выводов подключить батареи конденсаторов, шунтированные выключателями [4]. На рисунке 5 приведена схема такого устройства. Устройство для осуществления ОАПВ линии 1 содержит шунтирующий реактор 2, компенсационный реактор 3 с параллельно включенным выключателем 4 и последовательно соединенные с шунтирующим реактором 2 батареи конденсаторов 5, шунтируе-

мые выключателями 6.

В нормальном режиме в случае возникновения однофазного короткого замыкания 7 аварийная фаза линии 1 отключается линейными выключателями 8, после чего происходит подключение компенсационного реактора 3 путем отключения выключателя 4 и ввод в работу батареи конденсаторов 5 за счет отключения выключателя 6 в фазе, одноименной с аварийной фазой линии.

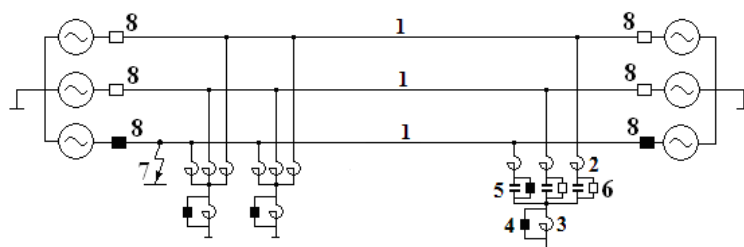


Рисунок 5 – Устройство для осуществления ОАПВ воздушных линий СВН

Предлагаемое устройство позволяет существенно снизить электромагнитную составляющую тока подпитки и соответственно полный ток до величин менее 40 А, при которых обеспечивается успешное ОАПВ за 0,6-0,8 с. При этом сопротивление батареи конденсаторов должно составлять 30-40% от сопротивления шунтирующего реактора. Мощность батареи конденсаторов сравнительно мала и не превышает 2-3% от мощности шунтирующего реактора.

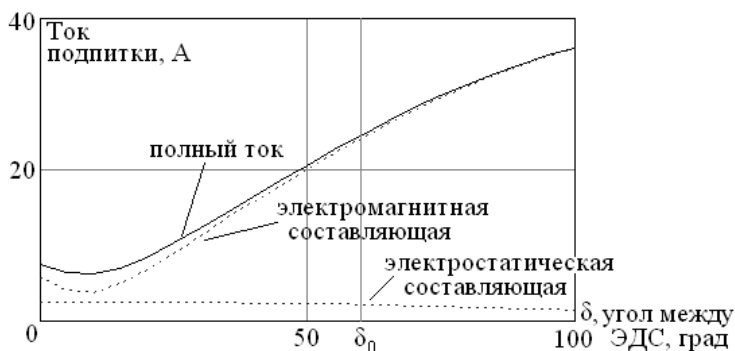


Рисунок 6 – Зависимость тока подпитки и его составляющих от угла расхождения между ЭДС примыкающих систем во время паузы ОАПВ при совместном использовании КР и батареи конденсаторов

Рисунок 6 иллюстрирует эффективное снижение электромагнитной составляющей тока подпитки и соответственно полного тока подпитки в пределах 40 А для линии 750 кВ длиной 450 км при совместном использовании компенсационного реактора и батареи конденсаторов, сопротивление которой принято равным 35% от сопротивления шунтирующего реактора. Значение электростатической составляющей тока подпитки также снижается по сравнению с традиционной схемой.

Таким образом, снижение длительности паузы ОАПВ в пределах одной секунды возможно обеспечить

путём использования наряду с компенсационным реактором батареи конденсаторов, устанавливаемых в каждой фазе со стороны нейтральных выводов шунтирующего реактора и включаемых в паузу ОАПВ в фазу, одноименную с аварийной фазой линии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Рашкес, В.С. Обобщение эксплуатационных данных эффективности ОАПВ ВЛ СВН и опытных данных времени гашения дуги подпитки / В.С. Рашкес // Электричество. -1989. -№3. -С. 65-72.

2 Беляков, Н.Н. Использование компенсационных реакторов для облегчения условий ОАПВ на высоковольтных линиях / Н.Н. Беляков, В.С. Рашкес, С.Н. Рожавская // Электричество. -1975. -№12. -С. 68-72.

3 Проектирование линий электропередачи сверхвысокого напряжения / Г.Н. Александров [и др.]; под ред. Г.Н. Александрова, Л.Л. Петерсона. -Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отделение, 1993.

4 Устройство для осуществления однофазного автоматического повторного включения линий сверхвысокого напряжения: заявка / Зильберман С.М., Красильникова Т.Г., Самородов Г.И. -№ 2009113837; заявл. 13.04.2009.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: линия сверхвысокого напряжения, ток дуги подпитки, компенсационный реактор, батарея конденсаторов

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»

СИММЕТРИРОВАНИЕ НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА В ТРЁХФАЗНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ СВЕРХВЫСОКОГО НАПЯЖЕНИЯ

ОАО «Магистральные электрические сети Сибири»
ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

ОАО «Сибирский научно-исследовательский институт энергетики»,
филиал ОАО «НТЦ Электроэнергетики»

С.М. Зильберман, Т.Г. Красильникова, Г.И. Самородов

BALANCING OF NORMAL CONDITIONS FOR THREE-PHASE EHV LINES

«Main electric networks of Siberia»

«Novosibirsk state technical university»

«Siberian scientific research institute of power, branch Scientific and technical centre of electric power industry»

S.M. Zilberman, T.G. Krasilnikova, G.I. Samorodov

Devices for balancing of normal conditions of three-phase EHV lines with a horizontal arrangement of phases in space are offered. They represent or the series reactors included in an middle phase in the beginning of lines, or the series capacitor banks included in extreme phases in the middle of lines.

Keywords: EHV Line, conditions balancing, series reactor, bank of capacitors, mutual reactance of line

Предлагаются устройства для симметрирования нормального режима высоковольтной трёхфазной воздушной линии с горизонтальным расположением фаз в пространстве, представляющие либо продольные реакторы, включаемые в среднюю фазу в начале линии, либо батареи конденсаторов, включаемые в крайние фазы в середине линии.

Главным источником несимметрии токов и напряжений в нормальных режимах работы электрических систем является пофазное различие электрических параметров линии. Несимметрия параметров воздушных линий обусловлена их конструкциями. Особое внимание вопросам несимметрии уделяется при создании линий СВН, поскольку их длины на отдельных участках могут достигать 300-600 км. На отечественных традиционных линиях 500-1150 кВ применяются, как правило, одноцепные опоры с горизонтальным расположением фаз. Для ограничения несимметрии такого рода обычно применяется транспозиция фазных проводов [1, 2], то есть циклическая перемена их взаимного расположения, что симметрирует результирующее продольное и поперечное сопротивление линии в целом. Однако для этого требуется сооружение транспозиционных опор, что усложняет конструкцию линии.

В полной мере негативные последствия от несимметрии параметров ВЛ СВН можно выявить, воспользовавшись схемой (рисунок 1), на которой электропередача обеспечивает выдачу мощности электростанции в систему, мощность которой значительно превышает мощность электростанции.



Рисунок 1 – Схема электропередачи

Все элементы данной схемы (генераторы, автотрансформаторы) принимаются симметричными, кроме самой линии. ЭДС системы и отправной станции также считаются симметричными, и их величины определяются исходным расчетным режимом. При известных ЭДС системы и станции проводится расчет трехфазного режима с учетом несимметрии параметров линии с использованием методики, изложенной в [3].

В качестве анализируемых режимных величин с точки зрения несимметрии рассмотрим напряжение обратной и нулевой последовательности на шинах распределительного устройства высокого напряжения. При этом несимметрия по напряжению характеризуется коэффициентами несимметрии по обратной и нулевой последовательности:

$$k_{U2} = \frac{U_{PY2}}{U_{PY}}; k_{U0} = \frac{U_{PY0}}{U_{PY}}, \quad (1)$$

где U_{PY} , U_{PY2} , U_{PY0} – напряжения на шинах распределительного устройства соответственно прямой, обратной и нулевой последовательностей.

Государственный стандарт нормирует допустимую величину коэффициентов несимметрии по напряжению обратной и нулевой последовательности на шинах распределительных

устройств в пределах 2%. Учитывая тот факт, что полная несимметрия складывается из влияния всех линий, приходящих на подстанцию, а также других возможных источников несимметрии, в частности, несимметричной нагрузки, рекомендуется для конкретной ВЛ исходить из норм, взятых с запасом, при которых коэффициенты несимметрии по обратной последовательности должны удовлетворять условию

$$k_{U2,доп} < 0,5\%; k_{U0,доп} < 0,5\% . \quad (2)$$

Определяющими факторами по условиям несимметрии являются длина линии и расположение фаз на опоре (рисунок 2а). На рисунке 2б приведена П-образная схема замещения ВЛ СВН в фазных координатах.

В режиме холостого хода уровень несимметрии определяется пофазным различием поперечных параметров, а в режиме передачи максимальной мощности, в качестве которой в дальнейшем принимается натуральная мощность, уровень несимметрии зависит также и от пофазного неравенства продольных параметров. Как следует из таблицы 1, коэффициенты несимметрии, определяемые поперечными параметрами, в несколько раз меньше чем коэффициенты несимметрии, диктуемые различием продольных параметров.

Таблица 1 – Коэффициенты несимметрии для нетранспонированной трехфазной ВЛ СВН при длине 400 км

Режим	Холостой ход	Натуральная мощность
$k_{U2}, \%$	0,45	1,95
$k_{U0}, \%$	0,06	0,16

Отсюда следует, что симметрирование режима возможно осуществить выравниванием фазных продольных параметров. Это делается либо путём последовательного включения в среднюю фазу линии на одном из её концов, например, в начале линии, продольного реактора (рисунок 3), либо за счёт последовательного включения в крайние фазы линии по её концам или в средней её части батарей конденсаторов (рисунок 4).

Поскольку установка батарей конденсаторов по концам линии приводит к увеличению токов короткого замыкания в примыкающих системах при повреждениях за батареями конденсаторов, то более предпочтительным вариантом размещения конденсаторной установки является её установка в средней части линии.

Приведенные на рисунках 5 и 6 результаты расчетов применительно к линии длиной 400 км показывают, что коэффициенты несимметрии не выходят за границы рекомендуемо-

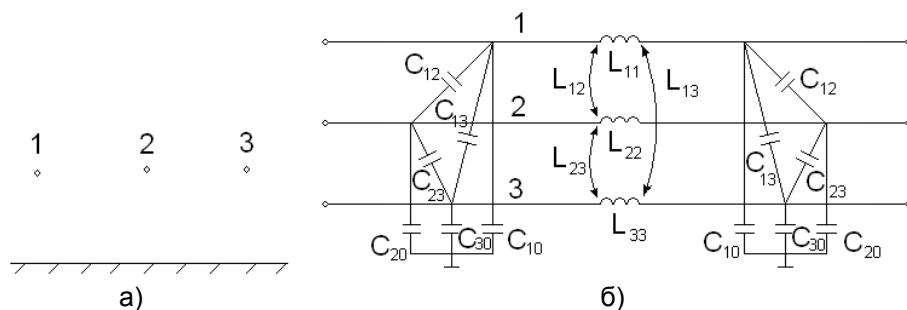


Рисунок 2 – Трёхфазная ВЛ СВН: а)-горизонтальное расположение фаз в пространстве; б)-П-образная схема замещения

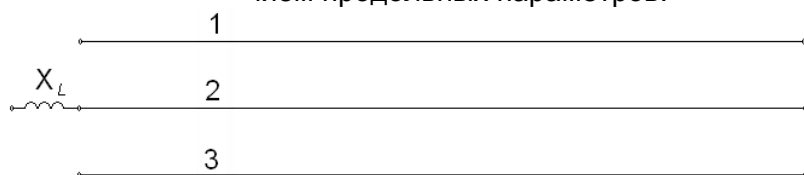


Рисунок 3 – Симметрирование путем включения продольного реактора в среднюю фазу линии

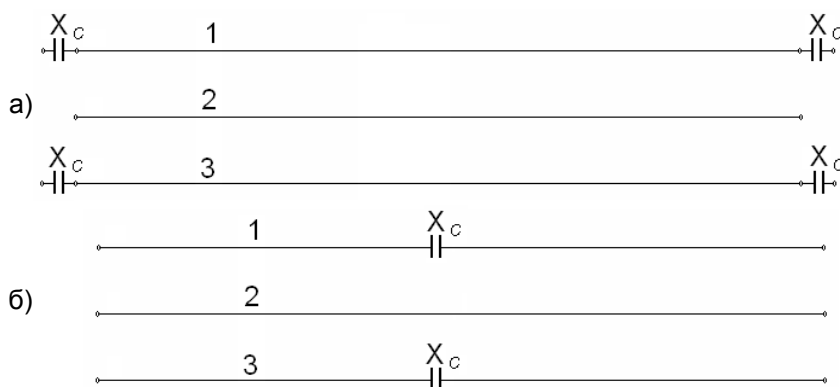


Рисунок 4 – Симметрирование путем включения продольной батареи конденсаторов в крайние фазы линии: а)-размещение батарей конденсаторов по концам линии; б)-размещение батарей конденсаторов в средней части линии

го диапазона, если величина продольного индуктивного сопротивления или емкостного сопротивления составляет 25-35% от взаимного сопротивления линии. Такая величина сопротивления обеспечивает требуемое симметрирование нормального режима, так что коэффициенты несимметрии на шинах подстанции не превышают 0,5% как по обратной, так и нулевой последовательностям.

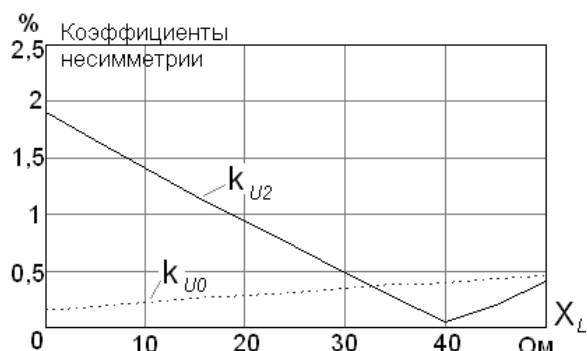


Рисунок 5 – Зависимость коэффициентов несимметрии от величины индуктивного сопротивления, включенного в среднюю фазу в начале линии

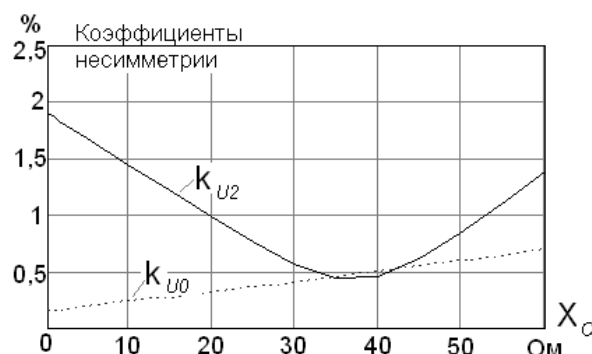


Рисунок 6 – Зависимость коэффициентов несимметрии от величины емкостного сопротивления, включенного в крайние фазы в середине линии

Если сопоставить между собой схемы симметрирования с продольным реактором и батареей конденсаторов, то предпочтение следует отдать последней, поскольку важным её преимуществом является снижение на 15-20% взаимного сопротивления линии (таблица 2), что обеспечивает повышение пропускной способности электропередачи в целом.

Таблица 2 – Взаимное сопротивление линии длиной 400 км

Способ симметрирования	Транспозиция	Реактор в средней фазе в начале линии, $X_L = 35$ Ом	Батареи конденсаторов в крайних фазах в середине линии, $X_C = 35$ Ом
Взаимное сопротивление линии, Ом	109 (100%)	121 (111%)	87 (80%)

Для того чтобы снизить на такую же величину взаимное сопротивление для варианта с транспозицией фаз, потребуется включение батарей конденсаторов во все три фазы линии с соответствующим увеличением их мощности и стоимости в полтора раза.

Таким образом, симметрирование режима с помощью батарей конденсаторов, установленных в крайних фазах в средней части линии, позволяет отказаться от сооружения на линии транспозиционных опор и одновременно снизить её взаимное сопротивление на 20%, что эквивалентно повышению натуральной мощности линии на такую же величину.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гершенгорн, А.И. Транспозиция длинных линий электропередачи / А.И. Гершенгорн, Н.А. Мельников, А.Н. Шеренцис // Электричество. -1953. -№1.
- 2 Справочник по проектированию линий электропередачи / М.Б. Вязьменский и [др.]; под ред. М.А. Реута, С.С. Рокотяна. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергия, 1980.
- 3 Зильберман, С.М. Транспозиция линий электропередачи и ее неожиданный эффект / С.М. Зильберман, Т.Г. Красильникова, Г.И. Самородов // Электричество. -2006. -№5.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: линия сверхвысокого напряжения, несимметрия режима, продольный реактор, батарея конденсаторов, взаимное сопротивление линии

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Зильберман Самуил Моисеевич, канд. техн. наук, ген. директор ОАО «МЭС Сибири»
Красильникова Татьяна Германовна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»
Самородов Герман Иванович, докт. техн. наук, профессор ОАО «СибНИИЭ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 660099, г. Красноярск, ул. А.Лебедевой, 117, ОАО «МЭС Сибири»
630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»
630126, г. Новосибирск, ул. Кленовая, 10/1, ОАО «СибНИИЭ»

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СИЛЫ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССАХ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.А. Кондратьев

ELECTROMAGNETIC FORCES IN NON-STATIONARY PROCESSES

«Novosibirsk state technical university»

V.A. Kondrat'ev

The methodology of account of electromagnetic forces created by electromagnetic converters of a constant current in non-stationary processes is submitted.

Keywords: the electromagnetic converter, stationary process, non-stationary process, electromagnetic force

Представлена методология расчета электромагнитных сил, создаваемых электромагнитными преобразователями постоянного тока в нестационарных процессах.

Целью статьи является систематизация новых положений определения электромагнитных сил в нестационарных процессах электромеханического преобразования энергии, совершаемого электромагнитными преобразователями (ЭМП) постоянного тока.

Рассматриваемые процессы характерны для работы электромагнитных механизмов (ЭММ) при управляемом перемещении рабочего органа. В таких ЭММ сила сопротивления движению якоря должна иметь доминирующую активную составляющую, которая может создаваться возвращающей пружиной либо другим ЭМП (дифференциальный электромагнитный привод).

Конструкции ЭММ весьма разнообразны, так как они разрабатываются с учетом конструктивной и параметрической совместимости ЭМП с приводимым оборудованием. По конструктивно-технологическим условиям изготовления и весогабаритным показателям наиболее предпочтительными являются ЭМП цилиндрической формы с внешним притягивающимся якорем и так называемые втяжные.

Критические замечания о существующих подходах к определению электромагнитных сил. Для расчета усилий, развиваемых ЭМП, применимы пакеты прикладных программ (ANSUS, ELCUD, FEMM) [1]. Указанные программные средства моделируют состояние стационарного электромагнитного поля. Однако в ЭМП условие стационарности электромагнитного поля выполнимо только при постоянстве ЭДС источника питания $E_{u.п}$ и неподвижном якоре. На основе классических положений электродинамики представление плотности электромагнитной энергии $w_{эм}$ в виде суммы электрического $w_{э.п}$ и магнитного $w_{м.п}$ компонентов

$$w_{эм} = w_{э.п} + w_{м.п} = \frac{\varepsilon_a \bar{E}^2}{2} + \frac{\mu_a \bar{H}^2}{2},$$

справедливо только для постоянного во времени электромагнитного поля и неоправданно, например, ссылками на относительно низкие скорости движения якоря. В нестационарном процессе плотность энергии электромагнитного поля:

$$w_{эм} = \left(\varepsilon_a \bar{E}^2 + \frac{\bar{D}^2}{2\varepsilon_a} - \bar{D}\bar{E} \right) + \left(\mu_a \bar{H}^2 + \frac{\bar{B}^2}{2\mu_a} - \bar{B}\bar{H} \right) - \bar{v} \left(\varepsilon_a [\bar{E}\bar{B}] + \mu_a [\bar{D}\bar{H}] \right),$$

не может быть разделена на электрическую и магнитную составляющие, характеризующиеся параметрами сред ε_a , μ_a , векторами напряженностей и индукций электрического $\bar{E}$, $\bar{D}$ и магнитного $\bar{H}$, $\bar{B}$ полей [2].

Электромагнитные усилия $F_{эм}$ могут определяться и на основе, так называемого, энергетического подхода исходя из баланса энергий, участвующих в процессе электромеханического преобразования.

Традиционно [3] этот баланс считается составленным с использованием дифференциалов энергий: источника питания $dW_{u.п}$, тепловых потерь $dW_{т.п}$, магнитного поля $dW_{м.п}$ и механической $dA_{мех}$, обусловленной виртуальным перемещением якоря dx

$$dW_{u.п} - dW_{т.п} = dW_{м.п} + dA_{мех} = dW_{м.п} + F_{эм} dx. \quad (1)$$

Из (1) следует

$$F_{эм} = - \frac{dW_{м.п}}{dx}.$$

Для определения $dW_{м.п.}$ используются семейства статических характеристик потокоцепления обмотки $\psi(i, x)$, получаемые интерполяцией двумерных массивов Ψ , аргументами которого служит сила постоянного тока обмотки I и расстояние между текущим δ и начальным δ_0 положением якоря: $x = \delta - \delta_0$. При наличии в ЭМП неподвижного и подвижного полюсов величины δ и δ_0 отождествляются с понятием рабочего воздушного зазора. Численные значения массивов $\Psi(I, x)$ могут быть определены с применением представленных выше пакетов прикладных программ. Частные методики расчета массивов $F_{эм}(I, x)$ энергетическим методом различаются способом оценки дифференциала $dW_{м.п.}$.

Раздельное использование энергий электрического и магнитного полей, свойственное подходу к моделированию в представленных выше программных средствах и традиционно-му подходу к составлению баланса энергий, приводит к противоречию относительно возможности преобразования магнитной и механической энергий. В этом случае, с одной стороны

$$dW_{у.п} - dW_{м.п} = dW_{эм} = dW_{э.п} + dW_{м.п},$$

а согласно (1)

$$dW_{у.п} - dW_{м.п} = dW_{м.п} + dA_{мех},$$

то есть $dA_{мех} = dW_{э.п}$ и никакого преобразования магнитной энергии в механическую энергию быть не может. Этот результат соответствует фундаментальному положению электродинамики, установленному в рамках возможного разделения электромагнитного поля на электрический и магнитный компоненты: механическая работа равна по величине и противоположна по знаку работе электрического поля, индуцированного движением. Иными словами: механическая работа совершается за счет энергии электрической компоненты электромагнитного поля. Магнитная же компонента электромагнитного поля не совершает механической работы. Анализировать процесс преобразования энергии магнитного поля в механическую энергию, без рассмотрения стадии образования электромагнитного поля (появления индуцированного вихревого электрического поля) недопустимо. Форма энергетического баланса (1) справедлива только для определения сил в неподвижном состоянии ЭММ в соответствии с принципом виртуальной работы. Электромагнитное усилие, определяемое на основе традиционного подхода к составлению энергетического баланса, отождествляется с силой магнитного тяжения безотносительно реального состояния якоря (статика или динамика).

Основные положения предлагаемого подхода к определению электромагнитных сил. Исследования, представленные в [4, 6], позволили получить экспериментальные доказательства различия электромагнитных сил в статике и динамике ЭММ. В результате исследований, нашедших отражение в [5, 7-9], сформированы новые положения методологии определения электромагнитных сил.

1 Динамические свойства электромагнитного привода должны определяться с учетом электромагнитного состояния ЭМП, представляемого законом полного тока для мгновенных значений (иначе – уравнением электромагнитного равновесия).

2 Электромагнитная энергия, запасаемая в электромагнитной системе ЭМП $W_{эм}$, частично потребляется процессом движения $W_{эм} = A_{мех}$, а оставшаяся часть обеспечивает возбуждение и служит обменной энергией $W_{эм.о}$ между электрическим и механическим входами ЭМП.

3 Электромеханическое преобразование энергии рассматривается как пространственно-временной процесс, показателями которого служат время t и перемещение якоря x , а при анализе электромагнитных сил в динамике должен использоваться аппарат частных производных.

4 Баланс дифференциалов энергии для определения электромагнитной силы в движении имеет вид

$$dW_{у.п} - dW_{м.п} = dW_{эм} = dW_{эм.о} + dW_{эм.д}.$$

5 Энергия движения является частным дифференциалом электромагнитной энергии

$$dW_{\text{эм}} = \frac{\partial W_{\text{эм}}}{\partial t} dt + \frac{\partial W_{\text{эм}}}{\partial x} dx = dW_{\text{эм.о}} + dW_{\text{эм.д}}.$$

6 Электромагнитная мощность представляется суммой мощностей обменной энергии и энергии, затрачиваемой на движение

$$P_{\text{эм}} = \frac{dW_{\text{эм}}}{dt} = \frac{\partial W_{\text{эм}}}{\partial t} + \frac{\partial W_{\text{эм}}}{\partial x} \frac{dx}{dt} = P_{\text{эм.о}} + P_{\text{эм.д}}.$$

7 Электромагнитная сила движения определяется исходя из электромагнитной мощности, затрачиваемой на движение

$$F_{\text{эм.д}} = \frac{P_{\text{эм.д}}}{v},$$

при условии пренебрежимо малой энергией упругих деформаций в креплении элементов ЭММ, обусловленных действием $F_{\text{эм.д}}$ в соответствии с третьим законом Ньютона.

Детализируя представленные положения, целесообразно отметить следующее.

В нестационарных процессах скорости изменения тока и потокосцепления явно зависят от времени (существуют $\partial i/\partial t$ и $\partial \psi/\partial t$). В частности, при питании обмотки ЭМП, характеризуемой сопротивлением R_o , от источника ЭДС $e_{\text{и.п}}(t)$ из уравнения электрического равновесия следует

$$\frac{d\psi(t, x)}{dt} = e_{\text{и.п}}(t) - i(t, x)R_o.$$

Закон полного тока для мгновенных значений позволяет устанавливать функциональную зависимость тока в обмотке i от перемещения якоря x при принятии общепринятых в электромеханике допущений:

– электромагнитное равновесие обусловлено только токами проводимости (влиянием токов смещения через витковую изоляцию обмотки не учитывается);

– вебер-амперные характеристики от рода тока не меняются (пренебрежение различием начальных и основных кривых намагничивания стали, гистерезисом, вихревыми токами).

Для анализа нестационарных процессов в ЭМП целесообразно и возможно введение промежуточного аргумента $i(t, x)$ в функциональную зависимость для потокосцепления $\psi = \psi[t; i(t, x); x]$, которая для стационарных процессов преобразуется к виду $\psi = \psi[t; i(t, x); x]$.

Баланс электрических мощностей может быть представлен выражением

$$e_{\text{и.п}}i - i^2R_{\text{и.п}} = i \frac{d\psi}{dt} = i \frac{\partial \psi}{\partial t} + iv \frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (2)$$

Здесь ради упрощения формы записи аргументы t и x при ψ опущены, выделены индуцированные напряжения, использовано обозначение для скорости движения якоря $v = dx/dt$.

Из (2) обменная электромагнитная мощность, запасаемая в магнитном поле ЭМП, равна

$$P_{\text{эм.о}} = i \frac{\partial \psi}{\partial t}, \quad (3)$$

а электромагнитная мощность, расходуемая на движение

$$P_{\text{эм.д}} = iv \frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (4)$$

На основе (4) электромагнитная сила при движении якоря

$$F_{\text{эм.д}} = \frac{P_{\text{эм.д}}}{v} = i \frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (5)$$

Таким образом, в предлагаемом методе определения электромагнитных сил в динамике все электромагнитные компоненты модели нестационарного электромеханического процесса являются функциями t и x , то есть «мировых» координат пространство-время. В результате каждой точке траектории движения $x(t)$ ставится в соответствие свое значение электромагнитной величины. Выделение в качестве аргумента $x(t)$ позволяет в явном виде учесть оба входа ЭМП: электрический и механический.

Приводимые ниже методические положения нацелены на применение в практике проек-

тирования ЭМП и обусловлены стремлением:

- использовать статические характеристики потокоцепления, как наиболее простой и общеизвестный способ представления электромагнитных свойств ЭМП;
- учесть влияние упругих деформаций в элементах ЭММ на величину электромагнитной силы до начала рабочего движения его якоря;
- применить современные программные средства для определения динамических свойств электромагнитного привода.

Использовать статические характеристики потокоцепления для расчета $F_{эм,д}$ представляется возможным с учетом того, что, как указано выше, в зависимость для $\psi(t, x)$ возможно введение i как промежуточного аргумента. Тогда при $t = \text{Const}$ справедливо:

$$\psi(t, x) = \psi[t, i(t, x), x] \Big|_{t=\text{Const}} = \psi[i(x), x]; \quad (6)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = \frac{\partial \psi(i, x)}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial i} \frac{\partial i}{\partial x} + \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial x}. \quad (7)$$

С учетом (7) электромагнитная сила в динамике ЭМП на каждом шаге интегрирования должна определяться по формуле

$$F_{эм,д} = i \frac{\partial \psi}{\partial x} + i \frac{\partial \psi}{\partial i} \frac{\partial i}{\partial x}. \quad (8)$$

Первое слагаемое (8) полностью определяется статическими характеристиками потокоцепления, а второе слагаемое, помимо статических характеристик потокоцепления, зависит от условий электрического и механического равновесий, учитываемых величиной $\frac{\partial i}{\partial x} \Big|_{t=\text{Const}}$.

В аналитической форме функциональная зависимость тока от перемещения якоря может быть получена только в некоторых частных случаях, например, линейного изменения потокоцепления либо тока во времени при неперемещенном условии постоянства магнитной проницаемости стали μ_{cm} [7]. Более интересным представляется случай изменения тока в обмотке ЭМП с $\mu_{cm} = \infty$ при скачкообразном изменении ЭДС источника питания, рассмотренный в [3] при обосновании традиционного баланса мощностей. Перед представлением преобразований, нацеленных на достижение результата в виде зависимости $i(t, x)$, обращается внимание на то, что в соответствии с законом полного тока для мгновенных значений

$$i = \frac{\psi(i, x)}{L(x)}.$$

В [3] подчеркнуто: «если механическая система приводится в движение таким образом, что перемещение x является независимой функцией $t(x)$, то L также будет независимой функцией времени $L(t)$ ». С учетом этого положения на основе уравнения электрического равновесия (второго закона Кирхгофа) для цепи питания обмотки от ЭДС $e_{u,п}(t)$ дифференциальное уравнение с переменными коэффициентами имеет вид

$$\frac{di}{dt} + \left[\frac{R_o + \frac{dL(t)}{dt}}{L(t)} \right] i = \frac{e_{u,п}(t)}{L(t)}. \quad (9)$$

Решение (9) получено в [3] с использованием интегрирующих множителей и представлено суммой общего решения однородного уравнения и частного решения при скачке ЭДС источника питания $E_{u,п}$ в момент времени $t = 0$.

Частное решение имеет вид

$$i(t) = \frac{E_{u,п}}{R_o + b} \left\{ 1 - \left[\frac{L(0)}{L(0) + bt} \right]^{1 + \frac{R_o}{b}} \right\}. \quad (10)$$

При выводе (10) принято, что

$$L(t) = L(0) + bt, \quad (11)$$

где b — постоянная, характеризующая скорость изменения индуктивности.

При профилировании полюсов магнитопровода и якоря можно в пределах рабочего хода ЭММ обеспечить практически линейный закон изменения индуктивности обмотки с коэффициентом приращения индуктивности при перемещении λ

$$L(x) = L|_{x=0} + \lambda x. \quad (12)$$

Из сопоставления (11) и (12)

$$b = \frac{\lambda x}{t}. \quad (13)$$

Подставляя (13) в (10) и учитывая соответствие между (11) и (12) можно получить частное решение для тока обмотки в зависимости от времени и перемещения якоря идеализированного (без проявления эффекта насыщения) ЭМП

$$i(t, x) = \frac{E_{u,n} t}{R_o t + \lambda x} \left\{ 1 - \left[\frac{L|_{x=0}}{L|_{x=0} + \lambda x} \right]^{1 + \frac{R_o t}{\lambda x}} \right\}. \quad (14)$$

Учет влияния упругих деформаций в элементах ЭММ на величину электромагнитной силы до начала рабочего движения якоря имеет принципиальное значение для определения статических сил на основе корректного энергетического баланса. Упругие деформации проявляются вследствие конечной жесткости элементов крепления и (или) при наличии пружин в согласующих устройствах (СУ) ЭМП с рабочим органом приводимого устройства. В соответствии с третьим законом Ньютона на якорь и упор, связанный с магнитопроводом ЭМП, действуют одинаковые электромагнитные силы $F_{эм.с}$. Под влиянием этих сил возникают упругие деформации упора y и якоря z , происходит изменение взаимного расположения полюсов. Механическая мощность, развиваемая ЭМП на момент начала рабочего движения якоря, определяется суммой мощностей, затрачиваемых на упругую деформацию упора и якоря под действием упругих сил F_y , которые равны по величине и противоположно направлены силам $F_{эм.с}$

$$P_{мех} = -F_y \frac{dy}{dt} - F_y \frac{dz}{dt} = F_{эм.с} \frac{dy}{dt} + F_{эм.с} \frac{dz}{dt} = F_{эм.с} \left(\frac{dy}{dt} + \frac{dz}{dt} \right). \quad (15)$$

В соответствии с законом Гука, оперируя коэффициентами жесткости c_y (для пружины в СУ $c_y = c_{пр}$) и $c_я$ из (15) следует:

$$F_{эм.с} = c_y y = c_я z; \quad (16)$$

$$\frac{z}{y} = \frac{c_y}{c_я} = \gamma = \text{Const}; \quad (17)$$

$$F_{эм.с} = i \frac{\gamma}{\gamma + 1} \frac{\partial \psi(i, z)}{\partial z} \Big|_{t=\text{Const}}. \quad (18)$$

Рассматривая z как обобщенную переменную, характеризующую положение якоря, выражение (18) может быть использовано для определения электромагнитной силы реального ЭМП на момент начала рабочего движения якоря.

Здесь важно отметить следующее. Для абсолютно жесткой конструкции ЭММ $\gamma = 1$, справедливо $dz = dx$ и из (18) следует

$$F_{эм.с} = \frac{1}{2} i \frac{\partial \psi(i, x)}{\partial x} \Big|_{t=\text{Const}}. \quad (19)$$

Формула (19) аналогична выражению для определения силы тяжения, полученной в [3] для ЭМП с $\mu_{см} = \infty$ в виде

$$F_{эм} = \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial L(x)}{\partial x}.$$

Относительно использования современных программных средств для оценки динамических свойств электромагнитных приводов в процедурах автоматизированного проектирования, здесь целесообразно отметить следующее.

Исследования формы распределения магнитного поля в области расположения обмотки позволили установить, что она существенно меняется при изменении положения якоря, но практически неизменна по мере насыщения ярма магнитопровода и якоря за счет увели-

чения намагничивающей силы обмотки. В качестве примера на приведенном ниже рисунке показано распределение трубок равного потока в ЭМП при рабочих зазорах 0,1 мм (вид а и б) и 4 мм (вид в и г), токах обмотки, обеспечивающих ненасыщенное ($B_{cm, max} = 0,2T$; вид а и в) и насыщенное ($B_{cm, max} = 1,9T$; вид б и г) состояния ярма магнитопровода и якоря.

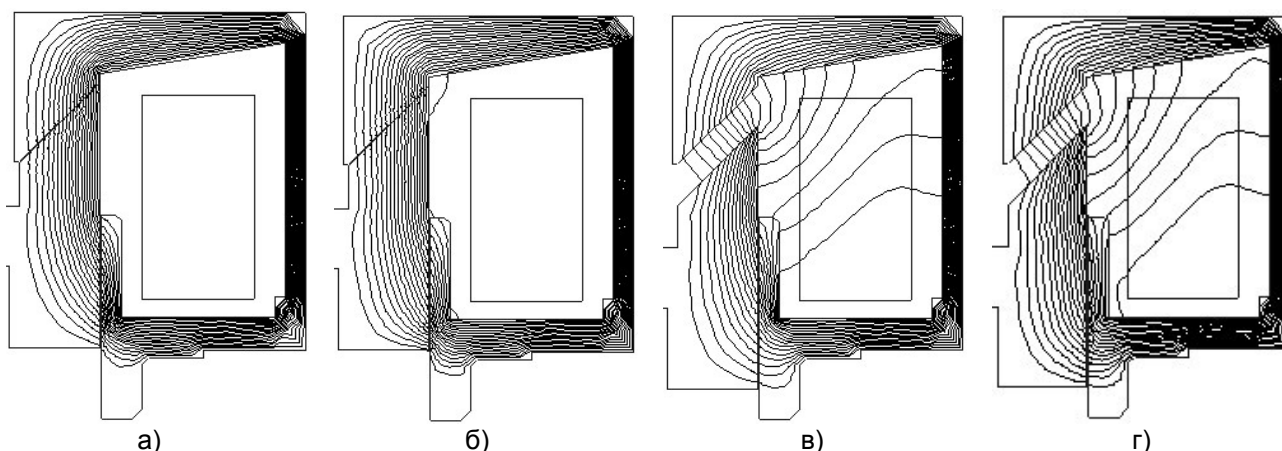


Рисунок – Распределение трубок равного потока в ЭМП

Рассеяние уменьшает долю магнитного потока, проходящего через рабочий зазор ЭМП, отражается в $\partial\psi/\partial x|_{i=Const}$. Это имеет существенное значение для определения электромагнитных сил по формулам (8) и (18). Получать численные значения $\partial\psi(i, x)/\partial x$ для расчетов электромагнитных сил как в статике при конечной жесткости элементов ЭММ, так и в динамике предлагается исходя из условия равенства статического электромагнитного усилия по (19) силе магнитного тяжения $F_{m, m. n}(i, x)$, получаемой в результате моделирования статического магнитного поля

$$\frac{\partial\psi(i, x)}{\partial x} = \frac{2F_{m, m. n}(i, x)}{i}. \quad (20)$$

Интерполяцию характеристик, используемых для определения всех электромагнитных параметров электромеханического процесса, целесообразно выполнять кубическими сплайнами, обращая при этом особое внимание на качество интерполяции в крайних интервалах. Это особо важно при интерполяции характеристик $\psi(i)|_{x=Const}$ потому, что потребуется корректное определение $\partial\psi/\partial i|_{x=Const}$. Для выполнения процедур интерполяции, дифференцирования и моделирования динамики электромагнитного привода представляется наиболее целесообразным использовать программные средства вычислительной среды MATLAB.

Представленная в статье методология определения электромагнитных сил в нестационарных процессах ЭМП с использованием баланса энергий, составленного на основе фундаментальных физических законов, и практические рекомендации по её использованию призваны способствовать дальнейшему развитию положений проектирования электромагнитных приводов, эксплуатационные свойства которых оцениваются с учетом динамических показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Буль, О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Магнитные цепи, поля и программа FEMM: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / О.Б. Буль. -М.: Академия, 2005. -336 с.
- 2 Энергетические соотношения и электромагнитные силы в медленно движущихся средах / Л.И. Малинин, В.И. Малинин, В.Д. Макельский, В.А. Тюков // Электричество. -2001. - №11. -С. 62-65.
- 3 Уайт, Д. Электромеханическое преобразование энергии / Д. Уайт, Г. Вудсон; пер. с англ. Н.Ф. Ильинского, Л.А. Садовского, В.К. Цаценкина; под ред. С.В. Страхова. -М.;Л.: Энергия, 1964. -528 с.
- 4 Кондратьев, В.А. Исследование электромагнитных сил в динамике электромагнитного

механизма / В.А. Кондратьев // Мехатроника, автоматизация, упр. -2009. -№1(94). -С. 31-35.

5 Малинин, Л.И. Статические и динамические силы электромагнитных механизмов / Л.И. Малинин, В.А. Кондратьев, В.Л. Малинин // Трансп.: наука, техника, упр.: науч. информ. сб. / ВИНТИ. -2008. -№6. -С. 24-27.

6 Малинин, Л.И. Статическое и динамическое равновесие электромагнитного механизма / Л.И. Малинин, В.А. Кондратьев, В.Л. Малинин // Трансп.: наука, техника, упр.: науч. информ. сб. / ВИНТИ. -2009. -№6. -С. 38-40.

7 Малинин, Л.И. Анализ двух подходов к определению электромагнитных сил / Л.И. Малинин, В.А. Кондратьев, В.Л. Малинин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -2009. -№2. -С. 291-297.

8 Малинин, Л.И. О необходимости различного подхода к расчету электромагнитных сил в статике и динамике электромагнитных механизмов / Л.И. Малинин, В.А. Кондратьев, В.Л. Малинин // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -2009. -№2. -С. 277-282.

9 Малинин, Л.И. Анализ сил электромагнитного механизма постоянного тока / Л.И. Малинин, В.А. Кондратьев, В.Л. Малинин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -2010. -№1. -С. 247-254.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электромагнитный преобразователь, стационарный процесс, нестационарный процесс, электромагнитная сила

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

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

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ БЕЗОТКАЗНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕГАТИВНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

В.И. Зацепина

CALCULATION OF FOULTNESS ELEMENTS OPERATION OF ELECTROSUPPLY SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF NEGATIVE INDIGNATIONS

«Lipetsk state technical university»

V.I. Zatsepina

The algorithm of calculation of indicators of non-failure operation of difficult systems of electro supply taking into account negative influence of external indignations of a various etiology is presented

Keywords: reliability, power-supply system, external negative indignations

Представлен алгоритм расчета показателей безотказности сложных систем электроснабжения с учетом негативного воздействия внешних возмущений различной этиологии.

Исходной информацией расчета показателей безотказности систем электроснабжения являются натуральные показатели отдельных возмущающих факторов: интенсивность отказов λ (удельная повреждаемость от возмущающих факторов) и время восстановления $T_{\text{в}}$. В нашем случае эти параметры должны рассматриваться как непрерывные и случайные переменные.

Они характеризуются как $f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, для которых математическое ожидание и дисперсия определяются выражениями

$$M_{f(x)} = f(\bar{x}) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} \right) + \sum_{i \neq j} \sigma_{ij} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} \right) \approx f(\bar{x}); \quad (1)$$

$$\sigma_{f(x)}^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \right]^2 + 2 \sum_{i \neq j} \sigma_{ij} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \left(\frac{\partial f}{\partial x_j} \right); \quad (2)$$

$$(\bar{x}) = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n).$$

где $\bar{x}_i, \sigma_i^2$ – среднее значение и дисперсия переменной x_i ;

σ_{ij} – ковариация переменных x_i и x_j .

Для переменных λ и $T_{\text{в}}$ ковариация σ_{ij} равна нулю. Наибольшая погрешность в вычислении $f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ возникает с использованием в расчетах средних значений $\bar{x}_i$

$$\Delta_{f(x)} = \frac{\alpha \sigma_{f(x)}}{f(\bar{x})} 100 = \alpha v_{f(x)} 100, \quad (3)$$

где α – коэффициент уровня доверительной вероятности погрешности вычисления;
 $v_{f(x)}$ – коэффициент вариации для функции $f(x)$.

Если в (3) принять $\alpha = 3$, то для любого распределения функции $f(x)$ согласно теореме Бьенэмэ-Чебышева доверительная вероятность будет соответствовать тому, что погрешность не превысит вычисленного значения, и составит не менее чем 0,889.

Следовательно, для практических расчетов можно предложить выражение

$$\Delta_{f(x)} = \frac{3 \sigma_{f(x)}}{f(\bar{x})} 100 = 3 v_{f(x)} 100. \quad (4)$$

В ряде случаев сравнение безотказности систем электроснабжения оценивается коэффициентом готовности схем. Такой подход используют для анализа рассматриваемых вариантов при равенстве приведенных затрат. Разнородность данных λ и T_e не вносит ошибки в результаты выполняемого анализа. Коэффициент готовности системы при воздействии отдельного возмущающего фактора

$$K_e = (1 + \lambda T_e)^{-1}.$$

Математическое ожидание коэффициента готовности $\bar{K}_e$ и дисперсия при воздействии на систему i -го возмущающего фактора

$$\bar{K}_e = \frac{1}{1 + \bar{\lambda} \bar{T}_e} \left[1 + \frac{1}{(1 + \bar{\lambda} \bar{T}_e)^2} \left[(\sigma_{T_e} \bar{\lambda})^2 + (\sigma_{\lambda} \bar{T}_e)^2 \right] \right]; \quad (5)$$

$$\sigma_{K_e}^2 = \frac{(\sigma_{T_e} \bar{\lambda})^2 + (\sigma_{\lambda} \bar{T}_e)^2}{(1 + \bar{\lambda} \bar{T}_e)^4}. \quad (6)$$

Выполненные расчеты по (4) на основании статистических данных свидетельствуют, что $\Delta_{f(x)} \ll 1\%$. Эти подтверждена устойчивость коэффициента готовности как показателя безотказности схемы электроснабжения. Рассмотрим схему, состоящую из m возмущающих факторов, каждый из которых содержит n цепей. Они характеризуются соответственно $\bar{K}_e$ и $\sigma_{K_e}^2$. При этом согласно (1)-(3), получим:

$$\bar{K}_{e, \text{сх}} = 1 - (1 - \bar{K}_e^n)^m; \quad (7)$$

$$\sigma_{K_{e, \text{сх}}}^2 = \left[mn(1 - \bar{K}_e^n)^{m-1} \bar{K}_e^{n-1} \right]^2 \sigma_{K_e}^2; \quad (8)$$

$$\Delta_{K_{e, \text{сх}}} = 300 \frac{mn(1 - \bar{K}_e^n)^{m-1} \bar{K}_e^n}{1 - (1 - \bar{K}_e^n)^m} v_{K_e}. \quad (9)$$

При $m = 1$; $v_{K_{e, \text{сх}}} = 300 n v_{K_e}$, то есть $v_{K_e} = \max \{ v_{K_e} \} = 3,726 \cdot 10^{-4}$. Погрешность достигает 5% в том случае, когда $n = 45$ шт. Количество цепей в системах электроснабжения производств металлургических заводов значительно больше 45. Для большинства цепей рассматриваемых схем $v_{K_e} \ll 3,726 \cdot 10^{-4}$, а значит, $\Delta_{K_{e, \text{сх}}}$ будет находиться в допустимых пределах. При $m = 2$ и $m = 3$ получим погрешности

$$(\Delta_{K_{e, \text{сх}}})_{m=2} = 600 \frac{1 - \bar{K}_e^n}{2 - \bar{K}_e^n} n v_{K_e};$$

$$(\Delta_{K_{e, \text{сх}}})_{m=3} = 900 \frac{(1 - \bar{K}_e^n)^2}{3 - (3\bar{K}_e^{2n-1} - \bar{K}_e^{3n-1})} n v_{K_e}.$$

Сравнение результатов свидетельствует, что с увеличением m при $n = \text{Const}$ погрешность уменьшается. Поэтому коэффициент готовности как показатель безотказности реальных электрических сетей металлургических производств является величиной устойчивой. Оценку безотказности электроснабжения можно осуществить по коэффициенту аварийного

простая $K_{\text{вв.сх}} = 1 - K_{\text{в.сх}}$. В нашем случае погрешность $\Delta K_{\text{вв.сх}}$ составит

$$\Delta K_{\text{вв.сх}} = \Delta K_{\text{в.сх}} \frac{\bar{K}_{\text{в.сх}}}{K_{\text{вв.сх}}}, \%$$

Полученный вывод справедлив для систем электроснабжения и отдельных их цепей. Для электрических цепей электроприемников особой группы первой категории основными показателями являются вероятность перерыва питания $k(t)$ и вероятность бесперебойного электроснабжения $r(t)$. В нашем случае $\lambda_i = \text{Const}$, следовательно

$$k_{\text{сх}}(t) = \prod_{j=1}^m \left[1 - \exp \left(-t \sum_{i=1}^n \lambda_i \right) \right]; \quad r_{\text{сх}}(t) = 1 - \prod_{j=1}^m \left[1 - \exp \left(-t \sum_{i=1}^n \lambda_i \right) \right]; \quad (10)$$

$$k_{\text{сх}}(t) = \left[1 - \exp \left(-t \sum_{i=1}^n \lambda_i \right) \right]^m; \quad r_{\text{сх}}(t) = 1 - \left[1 - \exp \left(-t \sum_{i=1}^n \lambda_i \right) \right]^m; \quad (11)$$

$$\bar{k}_{\text{сх}}(t) = \left[1 - \exp \left(-t \sum_{i=1}^n \bar{\lambda}_i \right) \right]^m; \quad \bar{r}_{\text{сх}}(t) = 1 - \left[1 - \exp \left(-t \sum_{i=1}^n \bar{\lambda}_i \right) \right]^m; \quad (12)$$

$$\sigma_{k_{\text{сх}}(t)}^2 = \sigma_{r_{\text{сх}}(t)}^2 = \sum_{i=1}^n \left\{ m \left[1 - \exp \left(-t \sum_{i=1}^n \bar{\lambda}_i \right) \right]^{m-1} i \exp \left(-t \sum_{i=1}^n \bar{\lambda}_i \right) \right\}^2 \sigma_{\lambda_i}^2. \quad (13)$$

В результате расчетов по формуле (12) значений $k_{\text{сх}}(t)$ и $r_{\text{сх}}(t)$ возможны погрешности. Согласно (4) их величину определяют как

$$\Delta k_{\text{сх}}(t) = \frac{3\sigma_{k_{\text{сх}}(t)}}{\bar{k}_{\text{сх}}(t)} 100; \quad \Delta r_{\text{сх}}(t) = \frac{3\sigma_{r_{\text{сх}}(t)}}{\bar{r}_{\text{сх}}(t)} 100. \quad (14)$$

Условие $\Delta k_{\text{сх}}(t) = \Delta r_{\text{сх}}(t)$ выполняется, если

$$\left[1 - \exp \left(-t \sum_{i=1}^n \bar{\lambda}_i \right) \right]^m = 0,5 \quad \text{или} \quad t \sum_{i=1}^n \bar{\lambda}_i = -\ln \left(1 - 0,5^{\frac{1}{m}} \right); \quad (15)$$

$$t \sum_{i=1}^n \bar{\lambda}_i = 0,693; \quad t \sum_{i=1}^n \bar{\lambda}_i = 1,228; \quad t \sum_{i=1}^n \bar{\lambda}_i = 1,578.$$

Учитывая (12) и (13), полагая, что воздействие всех возмущающих факторов вызывает отказ, будем иметь

$$\Delta k_{\text{сх}}(t) = 300 \frac{n \bar{\lambda} t}{\exp(n \bar{\lambda} t) - 1} m \nu_{\lambda}; \quad \Delta r_{\text{сх}}(t) = \Delta k_{\text{сх}}(t) \frac{[\exp(-n \bar{\lambda} t)]^m}{1 - [1 - \exp(-n \bar{\lambda} t)]^m}.$$

Вычисления проводились для значений коэффициента вариации $\nu_{\lambda \min} = 0,064$ и $\nu_{\lambda \max} = 0,588$. Анализ результатов свидетельствует о том, что $k_{\text{сх}}(t)$ и $r_{\text{сх}}(t)$ не достаточно устойчивы. Для сложных систем электроснабжения иерархических производств наибольшая погрешность определения $k_{\text{сх}}(t)$ и $r_{\text{сх}}(t)$ имеет место при значениях, лежащих в диапазоне от 0,5 до 5. Использование для вычислений $k_{\text{сх}}(t)$ и $r_{\text{сх}}(t)$ только средних или любых других значений λ_i без учета их случайного и переменного характера приведет к существенной погрешности, то есть к неправильной оценке безотказности систем электроснабжения. К числу показателей, используемых в процессе определения ущербов от перерыва электроснабжения, относят: продолжительность бесперебойного питания (наработка на отказ) $T_{\text{н}}$; время восстановления перерыва $T_{\text{в}}$ и частота нарушений электроснабжения Λ .

Для нерезервированной схемы с n последовательно соединенными цепями они определяются как

$$T_{\text{нсх}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}; \quad T_{\text{всх}} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i T_{\text{в}i}}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}; \quad \Lambda_{\text{сх}} = \sum_{i=1}^n \lambda_i.$$

При 100%-м резервировании с m параллельными ветвями

$$T_{H_{cx}} = \frac{1}{\prod_{j=1}^m \lambda_j T_{ej} \sum_{j=1}^m \frac{1}{T_{ej}}}; T_{e_{cx}} = \frac{1}{\sum_{j=1}^m T_{ej}}; \Lambda_{cx} = \sum_{j=1}^m \lambda_j T_{ej} \sum_{j=1}^m \frac{1}{T_{ej}}.$$

Если рассматривать каждую параллельную цепь как эквивалент n последовательно соединенных элементов и считать все параллельные цепи равнозначными, тогда

$$T_{H_{cx}} = \frac{1}{m \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i T_{ei} \right)^{m-1}}; T_{e_{cx}} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i T_{ei}}{m \sum_{i=1}^n \lambda_i}; \Lambda_{cx} = m \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i T_{ei} \right)^{m-1}.$$

Полученные выражения универсальны. Они применимы для расчетов как параллельных, так и последовательных цепей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: безотказность работы, система электроснабжения, внешние негативные возмущения
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Зацепина Виолетта Иосифовна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «ЛГТУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

АНАЛИЗ СИЛ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МЕХАНИЗМА ПОСТОЯННОГО ТОКА

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Л.И. Малинин, В.А. Кондратьев, В.Л. Малинин

THE ANALYSIS OF FORCES OF THE ELECTROMAGNETIC MECHANISM OF A CONSTANT CURRENT

«Novosibirsk state technical university»

L.I. Malinin, V.A. Kondrat'ev, V.L. Malinin

The comparative analysis of processes of transformation of energy is carried out at use for mathematical models of devices complete and private derivative. Is shown, that the spatial-temporary description of processes in private derivative allows to reveal wave modes and adequately to describe real processes.

Keywords: electromagnetic energy, mechanical energy, exchange energy, electromagnetic force

Проведен сравнительный анализ процессов энергопреобразования при использовании для математических моделей аппаратов полных и частных производных. Показано, что пространственно-временное описание процессов в частных производных позволяет выявить волновые режимы и адекватно описать реальные процессы.

В электромагнитных механизмах (ЭММ) анализ энергопреобразования и развиваемых усилий может быть проведен при описании процессов в полных производных (координатах Лагранжа) и в частных производных (координатах Эйлера).

В координатах Лагранжа независимыми переменными являются время t и начальное положение якоря, соответствующее моменту времени t_0

$$\varepsilon = x|_{t=t_0} = x_0 = x - \int_{t_0}^t v dt,$$

где $v = v(t)$ – скорость якоря и связанных с ним подвижных частей ЭММ.

Полная производная в координатах Лагранжа $\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \Big|_{\varepsilon = \text{Const}}$ является производной вдоль траектории движения $x(t)$.

С использованием понятия механической мощности $P_{\text{мех}}$ дифференциал механической энергии $W_{\text{мех}}$

$$dW_{\text{мех}} = P_{\text{мех}} dt = F_{\text{мех}} v dt,$$

при отсутствии механических потерь равен дифференциалу электромагнитной энергии механизма $dW_{\text{мех}}$ за вычетом дифференциала обменной энергии $dW_{\text{обм}}$

$$dW_{\text{мех}} = dW_{\text{эм}} - dW_{\text{обм}} = dW'_{\text{эм}}.$$

При этом отсутствует корректное, объективное определение $dW_{\text{обм}}$, а, следовательно, и обменной мощности $P_{\text{обм}}$, субъективное же их определение зависит от интерпретации исследователя.

Баланс мощностей ЭММ, составленный из представленных выше $P_{\text{обм}}$, $P_{\text{мех}}$, мощностей

источника питания $P_{у.п}$, тепловых потерь $P_{т.п}$ и электромагнитной $P_{эм}$

$$P_{у.п} - P_{т.п} = P_{эм} = P_{обм} + P_{мех},$$

может быть использован для установления различных форм определения энергий и мощностей в ЭММ, выраженных через электромагнитные величины (напряжения, токи, потокоосцепления).

Механическая сила, действующая на якорь при движении и в соответствии с третьим законом Ньютона вызывающая упругие деформации в креплении ЭММ, может быть представлена в виде

$$F_{мех} = \frac{P_{мех}}{v + v_y},$$

где v_y – скорость упругой деформации.

В процессе движения существуют особые точки ($v = 0$, $v \neq 0$), в которых определение механической силы указанным образом невозможно. В частности, такой особой точкой является момент трогания якоря.

Анализу соотношения между механическими силами в движении и в момент трогания якоря может способствовать рассмотрение производной от $P_{мех}$ по v с переходом к пределу соотношения скоростей v_y и v при стремлении последней к нулю

$$\lim_{\substack{v \rightarrow 0 \\ dv \neq 0}} \frac{dP_{мех}}{dv} = v_y \left. \frac{dF_{мех}}{dv} \right|_{v \rightarrow 0} + F_{мех} \left(1 + \lim_{v \rightarrow 0} \frac{dv_y}{dv} \right).$$

Механическая сила трогания при жестком креплении элементов ЭММ ($v_y = 0$) определяется в виде

$$F_{мех.тр} = \lim_{\substack{v \rightarrow 0 \\ dv \neq 0}} \frac{dP_{мех}}{dv}.$$

Здесь возможный учет упругих сил носит уточняющий характер и не имеет принципиального значения, так как

$$\lim_{\substack{v \rightarrow 0 \\ dv \neq 0}} \frac{dv_y}{dv} \gg 1.$$

Статическая механическая сила заторможенного ЭММ, обусловленная статической нагрузкой, вызывает упругие деформации в элементах крепления магнитопровода и соединения якоря с рабочим органом. В этом случае v – скорость упругих деформаций элементов крепления якоря к рабочему органу приводимого оборудования.

При высокой жесткости элементов крепления якоря и магнитопровода ЭММ

$$\lim_{\substack{v \rightarrow 0 \\ dv \rightarrow 0}} \frac{dv_y}{dv} = 1,$$

что обуславливает значение механической статической силы

$$F_{мех.ст} = \frac{1}{2} \lim_{\substack{v \rightarrow 0 \\ dv=0}} \frac{dP_{мех}}{dv}.$$

Для определения статических сил учет упругих деформаций в элементах ЭММ имеет принципиальное значение. Это заключение соответствует одному из определений силы в физике (появление деформаций твердых тел в статике). В ЭММ упругие деформации проявляются в элементах крепления магнитопровода электромагнитной системы, а также соприкосновения якоря с рабочим органом, наличии пружин.

В соответствии со вторым законом Ньютона разность $F_{мех.тр}$ и $F_{мех.ст}$ определяет механическую динамическую (движущую) силу в момент трогания

$$F_{мех.д} = F_{мех.тр} - F_{мех.ст} = m_{п.ч} a,$$

где $m_{п.ч}$ – масса подвижных частей ЭММ;

a – ускорение.

С физической точки зрения появление $F_{мех.д}$ обусловлено преобразованием потенциальной энергии упругих деформаций в кинетическую.

Представленные выражения для оценки сил позволяют проверять выполнение законов Ньютона, как одного из критериев адекватности модели электромеханического преобразования энергии в ЭММ.

В координатах Эйлера независимыми переменными являются время t и перемещения якоря x . Эта система координат наиболее приемлема при описании динамики электромеханического преобразования энергии, так как в явном виде позволяет учесть электрический и механический входы электромеханического преобразователя. Дифференциал электромагнитной энергии ЭММ в координатах Эйлера при движении

$$dW_{эм} = \frac{\partial W_{эм}}{\partial t} dt + \frac{\partial W_{эм}}{\partial x} dx = dW_{обм} + dW_{мех},$$

позволяет разделить мощности

$$P_{эм} = \frac{\partial W_{эм}}{\partial t} + v \frac{\partial W_{эм}}{\partial x} = P_{обм} + P_{мех},$$

корректно определить понятия обменной и механической мощности, а также электромагнитной силы

$$P_{обм} = \frac{\partial W_{эм}}{\partial t}; P_{мех} = v \frac{\partial W_{эм}}{\partial x}; F_{эм} = \frac{\partial W_{эм}}{\partial x}.$$

Целью статьи является представление результатов сравнительного анализа явлений, отражающих процесс преобразования энергии в ЭММ постоянного тока при использовании координат Лагранжа и Эйлера.

Анализ проводится без учета механических потерь. В основу оценки электромагнитных сил и описания особенностей преобразования энергии источника электропитания положен учет состояния механического оборудования на всех стадиях электромеханического процесса (статика, начало движения, динамика). Критерием адекватности математического описания выбрано соблюдение общеизвестных законов Ньютона и закона Кельвина, который утверждает, что в электромагнитной системе с постоянным током совершаемая механическая работа равна половине энергии, отдаваемой источником питания, а вторая половина энергии идет на увеличение энергии поля. Согласно [1] этот закон иногда называют «Джоуль за Джоуль».

Рассматривая традиционную форму описания процесса электромеханического преобразования энергии в координатах Лагранжа целесообразно подчеркнуть, что в существующей технической литературе величину электромагнитных сил определяют безотносительно состояния якоря (статика либо динамика). Такой подход сформировался исходя из рассмотрения энергобаланса в полных производных, который составлен в [2] на основе представлений о наличии в электромеханическом процессе известных форм энергий источника питания, тепловых потерь, электромагнитной, магнитного поля, механической:

$$dW_{у.п} - dW_{м.п} = dW_{эм} = dW_{м.п} + dW_{мех}. \quad (1)$$

Важно обратить внимание на приращения за время dt электромагнитной энергии $dW_{эм} = i(t)d\psi(t)$ и энергии магнитного поля $dW_{м.п} = d[i(t)\psi(t)/2]$.

При постоянном (стабилизированном) токе I из (1) следует соотношение

$$I^2 dL = \frac{I^2}{2} dL + dW_{мех}, \quad (2)$$

где $L(t)$ – индуктивность обмотки

$$L(t) = \frac{\psi(t)}{i(t)} = L[x(t)]; \quad \frac{dL(t)}{dt} = \frac{dL[x(t)]}{dx} \frac{dx}{dt} = \frac{dL(x)}{dx} \frac{dx}{dt}.$$

Выражение (2) удовлетворяет представленному выше закону Кельвина.

В случае пренебрежения механическими потерями в ЭММ электромагнитные силы равны механическим силам. Поэтому, с учетом представленных в вводной части статьи выражений, можно записать:

– статическая электромагнитная сила

$$F_{эм.ст} = F_{мех.ст} = \frac{1}{2} \lim_{v \rightarrow 0} \frac{dp_{мех}}{dv} = \frac{I^2}{4} \frac{dL}{dx} \Big|_{x=x_0};$$

– электромагнитная сила трогания

$$F_{эм.тр} = F_{мех.тр} = \lim_{v \rightarrow 0} \frac{dp_{мех}}{dv} = \frac{I^2}{2} \frac{dL}{dx} \Big|_{x=x_0};$$

– начальная динамическая сила

$$F_{\delta} = F_{\text{эм.тр}} - F_{\text{эм.ст}} = \frac{I^2}{4} \frac{dL}{dx} \Big|_{x=x_0}.$$

Однако, общеизвестно, что значение статической электромагнитной силы определяется по условию

$$F_{\text{эм.ст}} = \frac{I^2}{2} \frac{dL}{dx} \Big|_{x=x_0}.$$

Учитывая, что указанные соотношения между силами соответствуют второму и третьему законам Ньютона, приходится признать неправомочность баланса (2), а, следовательно, и баланса (1).

Ошибочность полученного результата объясняется тем, что баланс (1) составлен в [2] без учета взаимосвязей между известными формами энергии, электромагнитная энергия отождествлена с магнитной, процесс энергопреобразования рассматривается как преобразование энергии магнитного поля, которое в соответствии с законами электродинамики [1] не совершает механической работы. Корректный энергобаланс должен базироваться на законах Кирхгофа и принципе Д-Аламбера.

Для корректной формы описания процесса преобразования энергии в координатах Лагранжа следует исходить из представления закона электромагнитной индукции в полных производных. В соответствии со вторым законом Кирхгофа при источнике питания с ЭДС $e_{u.n}(t)$ и сопротивлением обмотки R_o

$$e_{u.n}(t) - i(t)R_o = \frac{d\psi(t)}{dt} = L(t) \frac{di(t)}{dt} + i(t) \frac{dL(t)}{dt},$$

путем умножения на ток $i(t)$ устанавливается баланс мощности в виде

$$e_{u.n}(t)i(t) - i^2(t)R_o = \frac{1}{2}L(t) \frac{di^2(t)}{dt} + i^2(t) \frac{dL(x)}{dx} \frac{dx}{dt}, \quad (3)$$

то есть

$$P_{\text{эм}} = i(t) \frac{d\psi(t)}{dt} = P_{\text{обм}} + P_{\text{мех}}.$$

Обменная мощность

$$P_{\text{обм}} = L(t)i(t) \frac{di(t)}{dt} = \frac{1}{2}L(t) \frac{di^2(t)}{dt},$$

интерпретируется как мощность процесса самоиндукции, а механическая мощность определяется выражением

$$P_{\text{мех}} = i^2(t) \frac{dL(x)}{dx} v.$$

При статической нагрузке, постоянном токе I обмотки и положении якоря в точке $x = x_0$:

– статическая электромагнитная сила

$$F_{\text{эм.ст}} = \frac{1}{2} \frac{dP_{\text{мех}}}{dv} \Big|_{x=x_0} = \frac{I^2}{2} \frac{dL(x)}{dx} \Big|_{x=x_0};$$

– электромагнитная сила трогания

$$F_{\text{эм.тр}} = \frac{dP_{\text{мех}}}{dv} \Big|_{x=x_0} = I^2 \frac{dL(x)}{dx} \Big|_{x=x_0};$$

– начальная динамическая сила

$$F_{\delta} = \frac{I^2}{2} \frac{dL(x)}{dx} \Big|_{x=x_0}.$$

Здесь статическая электромагнитная сила удовлетворяет общеизвестному выражению. Однако не выполняется закон Кельвина, так как из баланса (3) следует

$$P_{\text{эм}} = I^2 \frac{dL(t)}{dt} = P_{\text{мех}}.$$

Причиной несостоятельности баланса (3) является рассмотрение процесса в относительном, а не в абсолютном движении. Инвариантными по отношению к системам координат являются токи, напряжения и их полные дифференциалы. Дифференциал механической энергии является частным дифференциалом электромагнитной энергии и для практических

целей должен определяться при абсолютном движении, то есть в координатах Эйлера.

Для описания процесса преобразования энергии в координатах Эйлера следует исходить из представления закона электромагнитной индукции в частных производных. Тогда ЭДС обмотки

$$e_o = -\frac{\partial \psi(t, x)}{\partial t} - \frac{\partial \psi(t, x)}{\partial x} \frac{dx}{dt} = -\frac{\partial \psi(t, x)}{\partial t} - \frac{\partial \psi(t, x)}{\partial x} v.$$

Второй закон Кирхгофа в пространственно-временной форме записи

$$e_{u,n}(x, t) - i(x, t)R_o = \frac{\partial [L(x)i(x, t)]}{\partial t} + v \frac{\partial [L(x)i(x, t)]}{\partial x},$$

где $e_{u,n}(x, t)$ – ЭДС источника питания;

R_o – сопротивление обмотки.

Баланс мощности:

$$\overbrace{e_{u,n}(t, x)i(t, x) - i^2(t, x)R_o}^{p_{эм}(t, x)} = \underbrace{\left[\frac{1}{2}L(x) \frac{\partial i^2(t, x)}{\partial t} \right]}_{p_{обм}(t, x)} + \underbrace{\left[\frac{1}{2}L(x) \frac{\partial i^2(t, x)}{\partial x} v \right]}_{p_{мех}(t, x)} + \left[i^2(t, x) \frac{\partial L(x)}{\partial x} v \right]. \quad (4)$$

Здесь в явной форме проявляется взаимосвязь процесса самоиндукции, характеризующего инерционные свойства электромагнитного поля, и процесса механического движения. Мощность процесса самоиндукции $p_c(t, x)$ содержит временной и пространственный компоненты. Первый из них носит характер обменной мощности $p_{обм}$ между источником питания и механической частью ЭММ и, не оказывая силового воздействия, обеспечивает электротехническое (по терминологии Максвелла [4]) состояние устройства, то есть возбуждает электромагнитное поле электромагнитной системы. Второй компонент, оказывая силовое воздействие, участвует в образовании механической мощности.

При постоянном токе I мощность процесса самоиндукции $p_c = 0$ и баланс (4) представляется в виде совокупности двух энергобалансов:

$$\begin{cases} p_{эм}(t, x) = p_{мех.1}(t, x) = I^2(t, x) \frac{\partial L(x)}{\partial x} v; \\ p_c(t, x) = p_{обм}(t, x) + p_{мех.2}(t, x) = \frac{1}{2}L(x) \frac{\partial I^2(t, x)}{\partial t} + \frac{1}{2}L(x) \frac{\partial I^2(t, x)}{\partial x} v = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Первый из них показывает, что электромагнитная мощность, равная электрической мощности источника питания за вычетом мощности тепловых потерь, преобразуется в первую составляющую механической мощности, то есть эта часть механической мощности развивается за счет мощности источника питания. Данному энергобалансу соответствует первая составляющая электромагнитной силы при движении

$$F_{эм.0}^{(1)} = I^2(t, x) \frac{\partial L(x)}{\partial x} = I^2 \frac{\partial L(x)}{\partial x}. \quad (6)$$

Второй энергобаланс показывает, что мощность процесса самоиндукции отсутствует при постоянном токе в результате взаимной компенсации обменной мощности и второй пространственной составляющей, обуславливающей вторую часть механической мощности. Равенство нулю мощности процесса самоиндукции не свидетельствует об отсутствии самого процесса ввиду его пространственно-временного характера. Данному энергобалансу соответствует вторая составляющая электромагнитной силы при движении

$$F_{эм.0}^{(2)} = \frac{1}{2}L(x) \frac{\partial I^2(t, x)}{\partial x}. \quad (7)$$

На основании (6) и (7) результирующая электромагнитная сила при движении

$$F_{эм.0} = F_{эм.0}^{(1)} + F_{эм.0}^{(2)} = I^2 \frac{\partial L(x)}{\partial x} + \frac{1}{2}L(x) \frac{\partial I^2(t, x)}{\partial x}. \quad (8)$$

Для (8) определим частную производную функции $I^2(t, x)$ по x .

Второму из энергобалансов (5) соответствует дифференциальное уравнение первого порядка в частных производных

$$\frac{\partial I^2(t, x)}{\partial t} + v \frac{\partial I^2(t, x)}{\partial x} = 0, \quad (9)$$

которое в координатах Лагранжа эквивалентно уравнению

$$\frac{dI^2(t, \varepsilon)}{dt} = 0. \quad (10)$$

Начальное условие $I^2|_{t=t_0}$ в уравнениях (9) и (10) определяется процессом при $t < t_0$ и $x < \varepsilon$, то есть в области

$$\int_{-\infty}^{t_0} v dt - x < 0.$$

Решение уравнения (9) при указанном начальном условии представляет собой прямую бегущую волну, начальный профиль которой движется без изменения формы

$$I_{\text{пр}}^2 \left(\int_{t_0}^t v dt - x \right) = I^2|_{t=t_0} = I^2.$$

Данная прямоугольная волна может быть записана с помощью единичной функции $1(t)$ [5]

$$I_{\text{пр}}^2 \left(\int_{t_0}^t v dt - x \right) = I^2 1 \left(\int_{t_0}^t v dt - x \right),$$

что позволяет определить производные в виде:

$$\frac{\partial I^2(t, x)}{\partial x} = -I^2 \delta \left(\int_{t_0}^t v dt - x \right); \quad \frac{\partial I^2(t, x)}{\partial t} = I^2 v \delta \left(\int_{t_0}^t v dt - x \right),$$

где δ – дельта-функция.

В любой точке траектории движения $x(t)$, несмотря на дельтообразные особенности производных, уравнение (10) удовлетворяется.

В соответствии с (7) вторая составляющая электромагнитной силы при движении

$$F_{\text{эм.д}}^{(2)} = -\frac{I^2 L(x)}{2} \delta \left(\int_{t_0}^t v dt - x \right) = -\frac{I^2}{2} \frac{\partial L(x)}{\partial x},$$

где производная $\partial L(x)/\partial x$ определяется на линии разрыва решения уравнения (9) [5].

Линия разрыва решения имеет уравнение

$$\int_{t_0}^t v dt - x = 0,$$

то есть соответствует реальной траектории движения.

Переход от импульсного характера силы $F_{\text{эм.д}}^{(2)}$ к ее выражению в виде гладкой функции объясняется фильтрующим действием дельта-функции.

Импульс силы $F_{\text{эм.д}}^{(2)}$

$$F_{\text{эм.д}}^{(2)} dt = -\frac{I^2 L(x)}{2v} \delta \left(\int_{t_0}^t v dt - x \right) dx,$$

обуславливает импульс подвижных частей ЭММ за время t (к сожалению, общепринятое обозначение импульса твердого тела p совпадает с общепринятым обозначением мгновенной мощности)

$$p = \int_{t_0}^t F_{\text{эм.д}}^{(2)} dt = -\int_{x_0}^x \frac{I^2 L(x)}{2v} \delta \left(\int_{t_0}^t v dt - x \right) dx = -\frac{I^2 L(x)}{2v},$$

так как x принадлежит интервалу интегрирования. Это приводит к выражению силы $F_{\text{эм.д}}^{(2)}$ в виде гладкой функции

$$F_{\text{эм.д}}^{(2)} = \frac{dp}{dt} = v \frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{I^2}{2} \frac{\partial L(x)}{\partial x}.$$

Таким образом, результирующая электромагнитная сила при движении в соответствии с

(8) определяется в виде

$$F_{эм.д} = I^2 \frac{\partial L(x)}{\partial x} - \frac{I^2}{2} \frac{\partial L(x)}{\partial x} = \frac{I^2}{2} \frac{\partial L(x)}{\partial x}.$$

С физической точки зрения наличие электромагнитной силы $f_{эм}^{(2)}$ обусловлено электромагнитной инерцией поля, возмущенного движением якоря.

Механическая мощность при движении

$$P_{мех} = \frac{I^2}{2} \frac{\partial L(x)}{\partial x} v,$$

равна обменной мощности

$$P_{обм} = \frac{L(x)}{2} \frac{\partial I^2(x, t)}{\partial t} = \frac{I^2 L(x)}{2} v \delta \left(\int_{t_0}^t v dt - x \right) = \frac{I^2}{2} v \frac{\partial L(x)}{\partial x},$$

то есть закон Кельвина выполняется.

При заторможенном ЭММ $x = x_0$ и постоянном токе волновой процесс и явление самоиндукции отсутствуют. Как полная производная, так и частные производные функции $I^2(x, t)$ равны нулю. В этом случае обменная мощность отсутствует, а механическая мощность определяется только первой составляющей электромагнитной силы. Из (5) следует

$$\left. \frac{dP_{мех}}{dv} \right|_{x=x_0} = I^2 \left. \frac{\partial L(x)}{\partial x} \right|_{x=x_0}.$$

Отсутствие обменной мощности свидетельствует о постоянстве обменной энергии, которая в данном случае является энергией статического магнитного поля. Это еще раз подтверждает известное положение электродинамики: магнитное поле не совершает механической работы.

При статической нагрузке, постоянном токе I обмотки и положении якоря в точке $x = x_0$:

– статическая электромагнитная сила

$$F_{эм.ст} = \frac{1}{2} \left. \frac{dP_{мех}}{dv} \right|_{x=x_0} = \frac{I^2}{2} \left. \frac{\partial L(x)}{\partial x} \right|_{x=x_0};$$

– электромагнитная сила трогания

$$F_{эм.тр} = \left. \frac{dP_{мех}}{dv} \right|_{x=x_0} = I^2 \left. \frac{\partial L(x)}{\partial x} \right|_{x=x_0};$$

– начальная динамическая сила

$$F_д = \frac{I^2}{2} \left. \frac{\partial L(x)}{\partial x} \right|_{x=x_0}.$$

Таким образом, можно заключить, что только при пространственно-временном описании процесса электромеханического преобразования энергии в ЭММ выполняются как законы Ньютона, так и закон Кельвина.

Формулы для расчета ЭДС обмотки, а так же электромагнитных сил в статике и динамике ЭММ при питании от источника напряжения представлены в [6].

Выводы. Описание процесса энергопреобразования на примере электромагнитного механизма при использовании аппарата полных производных приводит к ошибочным результатам, которые не согласуются или с законами Ньютона или с законом Кельвина «Джоуль за Джоуль».

Реальный процесс энергопреобразования адекватно описывается при использовании аппарата частных производных, то есть в пространственно-временной форме.

Причиной соотношений, присущих закону Кельвина «Джоуль за Джоуль», для электромагнитных устройств с постоянным током является образование волнового процесса изменения тока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Поливанов, К.М. Теория электромагнитного поля / К.М. Поливанов. -М.: Энергия, 1975. -208 с.

2 Уайт, Д.С. Электромеханическое преобразование энергии / Д.С. Уайт, Г.Х. Вудсон. -М.; Л.: Энергия, 1964. -528 с.

3 Каплянский, А.Е. Теоретические основы электротехники / А.Е. Каплянский, А.П. Лысенко, Л.С. Полотовский. -М.; -Л.: Госэнергоиздат, 1961. -527 с.

4 Демирчян, К.С. Уравнения электромагнитного поля Максвелла и развитие физической науки / К.С. Демирчян, К.К. Демирчян // Электричество. -2006. -№1. -С. 2-26.

5 Зельдович, Я.Б. Элементы математической физики / Я.Б. Зельдович, А.Д. Мышкис. - М.: Наука, 1973. -352 с.

6 Малинин, Л.И. Статические и динамические силы электромагнитных механизмов / Л.И. Малинин, В.А. Кондратьев, В.Л. Малинин // Трансп.: наука, техника, упр.: науч. информ. сб. / ВИНТИ. -2008. -№6. -С. 24-27.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электромагнитная энергия, механическая энергия, обменная энергия, электромагнитная сила

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Малинин Леонид Иванович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «НГТУ»
Кондратьев Владимир Александрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»
Малинин Вячеслав Леонидович, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»

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

КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕТЯГОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

С.А. Лунев, Р.Ш. Аюпов, М.М. Соколов

TECHNICAL STATE CONTROL OF ELECTRIC SUPPLY SYSTEM'S ELEMENTS FOR NON TRACTION CUSTOMERS OF RAILWAYS

«Omsk state transport university»

S.A. Lunev, R.Sh. Ayupov, M.M. Sokolov

The technical state control method of the electric supply system's elements using conformal mapping apparatus is proposed.

Keywords: electric power supply, non traction customers, conformal mapping

Предложен метод контроля технического состояния элементов системы электроснабжения с использованием аппарата конформных отображений.

Электрическая энергия на сети железных дорог расходуется как на тяговые нужды, так и на электроснабжение нетяговых потребителей.

Все электроприемники предприятий железнодорожного транспорта в отношении обеспечения надежности их электроснабжения разделяют на три категории: I, II и III.

Устройства железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) относятся к нетяговым потребителям I категории и должны получать питание от надежных постоянно действующих энергосистем, электростанций, подстанций или линий электропередач, располагающих достаточной мощностью и имеющих стабильную частоту и напряжение на своих шинах [1].

Электропитание устройств ЖАТ на перегонах и малых станциях осуществляется от высоковольтных линий (ВЛ) сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ). Электроэнергия по ВЛ СЦБ передается от трансформаторной или тяговой подстанции в зависимости от рода тяги на участке железной дороги.

ВЛ СЦБ выполняются трехфазны-

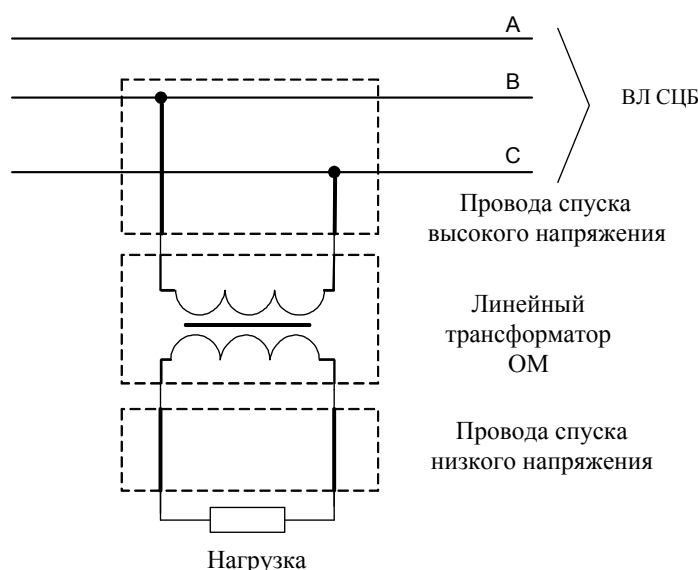


Рисунок 1 – Электрическая схема комплекта линейных устройств электроснабжения

ми трехпроводными, с изолированной нейтралью, напряжением 6 или 10 кВ.

Электрическая энергия от ВЛ СЦБ к потребителю поступает через линейный однофазный масляный трансформатор (ОМ).

Комплект линейных устройств электроснабжения (КЛУЭ) каждого нетягового потребителя на перегоне кроме ОМ включает в себя:

- провода высоковольтного спуска, соединяющие ВЛ СЦБ с первичной обмоткой ОМ;
- провода низковольтного спуска, соединяющие вторичную обмотку ОМ с нагрузкой.

В качестве нагрузки может рассматриваться любое устройство ЖАТ, получающее электрическую энергию от ВЛ СЦБ. Например, релейный шкаф автоблокировки, линейный пункт по обнаружению нагретых букс, переездные устройства.

Электрическая схема КЛУЭ приведена на рисунке 1.

Каждый элемент КЛУЭ можно представить схемой замещения в виде четырехполюсника (ЧП) [2].

Классически связь между напряжениями и токами на входе и выходе ЧП устанавливается при помощи системы уравнений

$$\begin{cases} \dot{U}_{\text{вх}} = A \cdot \dot{U}_{\text{вых}} + B \cdot \dot{i}_{\text{вых}}; \\ \dot{i}_{\text{вх}} = C \cdot \dot{U}_{\text{вых}} + D \cdot \dot{i}_{\text{вых}}. \end{cases} \quad (1)$$

Эквивалентная схема замещения КЛУЭ представляется в виде каскадного соединения трех ЧП (рисунок 2).

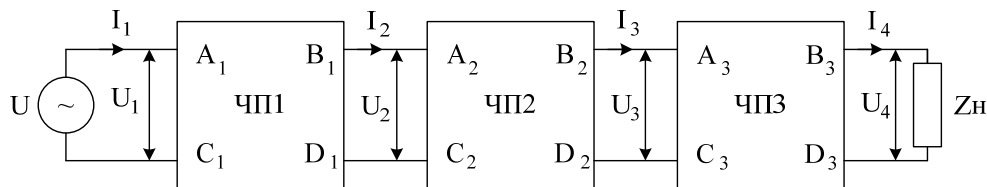


Рисунок 2 – Эквивалентная схема замещения комплекта линейных устройств электроснабжения

Коэффициенты A, B, C и D характеризуются параметрами каждого из элементов КЛУЭ. В нашем случае, имея каскадное соединение трех ЧП, получим

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{i}_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{i}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_3 \\ \dot{i}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_3 & B_3 \\ C_3 & D_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_4 \\ \dot{i}_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{\text{экв}} & B_{\text{экв}} \\ C_{\text{экв}} & D_{\text{экв}} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{U}_4 \\ \dot{i}_4 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $A_{\text{экв}}$, $B_{\text{экв}}$, $C_{\text{экв}}$, $D_{\text{экв}}$ – коэффициенты ЧП эквивалентной схемы замещения КЛУЭ.

В качестве математического аппарата для анализа параметров полученного эквивалентного ЧП предлагается использовать более быстрый и точный, по сравнению с матричным, аппарат конформных отображений.

Конформным отображением называется биекция области Z на область W , такая, что в окрестности любой точки Z главная часть взаимнооднозначного отображения есть ортогональное преобразование с сохранением ориентации [3].

Отображение множества выходных параметров Z четырехполюсника КЛУЭ на множество входных W , выполняется с использованием дробно-линейного преобразования

$$W = (AZ + B)/(CZ + D). \quad (3)$$

Номограмма входного сопротивления эквивалентного ЧП при дробно-линейном преобразовании правой полуплоскости представлена на рисунке 3. В качестве нагрузки эквивалентного ЧП КЛУЭ рассматривается область всевозможных значений с неотрицательной действительной частью комплексного

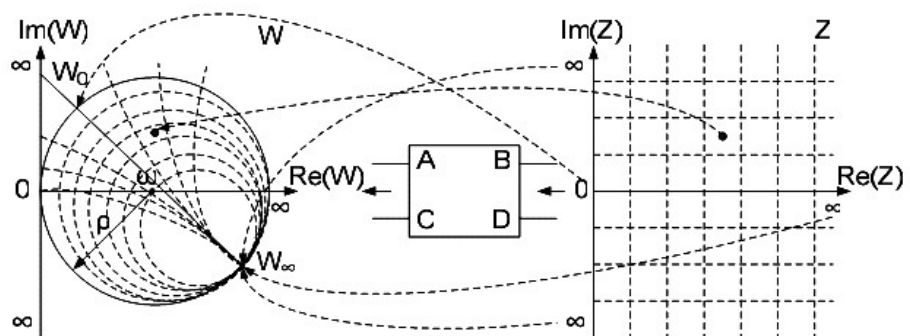


Рисунок 3 – Номограмма входного сопротивления эквивалентного четырехполюсника при дробно-линейном преобразовании правой полуплоскости

сопротивления, представляющая правую полуплоскость комплексной плоскости. В результате конформного преобразования правой полуплоскости получаем множество значений входного сопротивления, имеющих форму окружности или сектора, лежащих в правой полуплоскости.

Авторами предлагается автоматизировать процесс анализа параметров КЛУЭ методом конформных отображений с использованием системы Matlab для вычислений и визуализации.

Аппарат конформных отображений, позволяет вычислить образы соответствующих окружностей. При этом правая полуплоскость множества выходных параметров представляется сеткой значений, то есть отображение прямых параллельных оси ординат и прямых параллельных оси абсцисс.

Согласно [3] центры и радиусы отображаемых окружностей определяются по следующим формулам:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \alpha \cdot A \cdot \bar{C} + A \cdot \bar{D} \cdot \bar{\lambda} + B \cdot \bar{C} \cdot \lambda}{2 \cdot \alpha \cdot |C|^2 + 2 \cdot \operatorname{Re}(C \cdot \bar{D} \cdot \bar{\lambda})}; \quad (4)$$

$$\rho = \left| \frac{A}{C} - \omega_0 \right| = \left| \frac{(A \cdot D - B \cdot C) \cdot \lambda}{2 \cdot \alpha \cdot |C|^2 + 2 \cdot \operatorname{Re}(C \cdot \bar{D} \cdot \bar{\lambda})} \right|, \quad (5)$$

где λ, α – коэффициенты прямой;

$\bar{C}, \bar{D}, \bar{\lambda}$ – сопряженные комплексные величины.

Использование аппарата конформных отображений позволяет контролировать постепенные и внезапные отказы элементов КЛУЭ при изменении:

- сопротивления проводов высоковольтного спуска;
- параметров трансформатора ОМ;
- сопротивления проводов и изоляции низковольтного спуска.

В качестве примера рассмотрим движение области входного сопротивления эквивалентного ЧП КЛУЭ при увеличении сопротивления проводов (рисунок 4) и понижения сопротивления изоляции (рисунок 5) низковольтного спуска.

Проведенный анализ полученных областей позволил сделать следующие выводы:

1 По мере увеличения сопротивления проводов (рисунок 4), область, полученная при конформном преобразовании, сужается и смещается в сторону уменьшения активного и увеличения индуктивного сопротивления;

2 При уменьшении сопротивления изоляции (рисунок 5), область значений входного сопротивления сужается в сторону уменьшения активного сопротивления;

3 Радиус и расположение полученных областей зависят от параметров схемы замещения проводов низковольтного спуска.

Графическое представление данных зависимостей также позволяет оценить влияние параметров каждого элемента КЛУЭ на результат конформного отображения правой полуплоскости выходных значений на область входных.

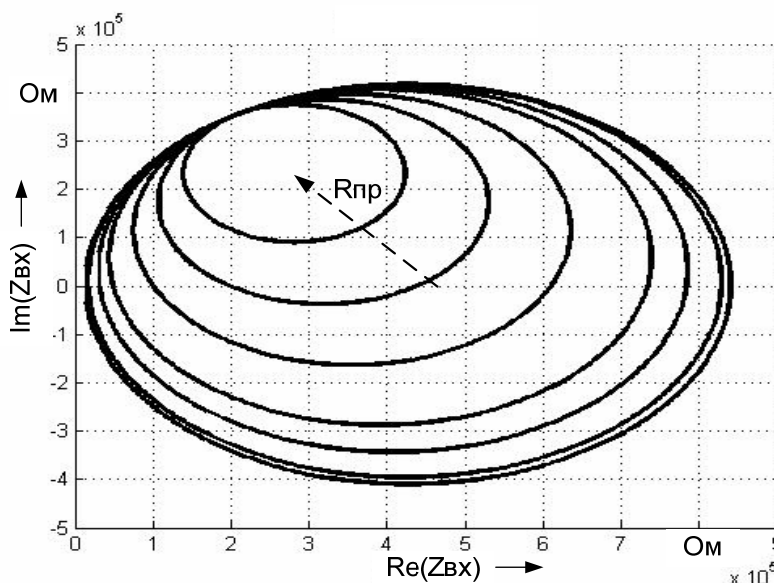


Рисунок 4 – Движение области входного сопротивления эквивалентного четырехполюсника комплекта линейных устройств электроснабжения при увеличении сопротивления проводов низковольтного спуска на значения равное 0, 1, 5, 10, 25, 100 Ом

Авторами предлагается использовать номограммы, как наглядное и эффективное средство исследования функциональных зависимостей выходных электрических параметров КЛУЭ от его внутренних параметров (сопротивление проводов высоковольтного спуска, параметров ОМ, сопротивление проводов и изоляции низковольтного спуска) в широком диапазоне их изменения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Правила устройства электроустановок. -СПб.: Изд-во ДЕАН, 2003. -928 с.

2 Волков, Е.А. Теория линейных электрических цепей железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / Е.А. Волков, Э.И. Санковский, Д.Ю. Сидорович. -М.: Маршрут, 2005. -507 с.

3 Лаврентьев, М.А. Методы теории функций комплексного переменного / М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат. -М.: Лань, 2002. -688 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергоснабжение, нетяговые потребители, конформное отображение

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Лунев Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

Аюпов Роман Шамильевич, канд. техн. наук, ст. преподаватель ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

Соколов Максим Михайлович, ассистент ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К.Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

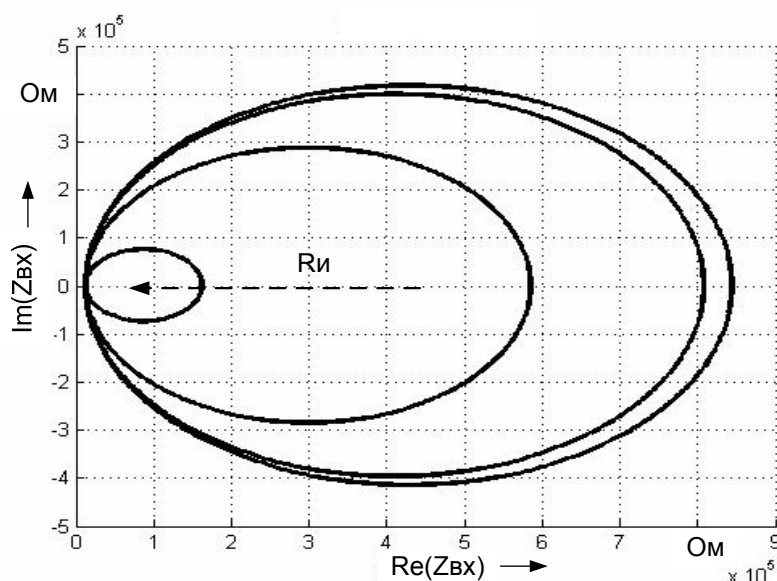


Рисунок 5 – Движение области входного сопротивления эквивалентного четырехполюсника комплекта линейных устройств электроснабжения при значениях сопротивления изоляции проводов низковольтного спуска равного бесконечности, 10 кОм, 1 кОм и 0,1 кОм

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМНОГО УРОВНЯ ДЛЯ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
«Сибирский научно-исследовательский институт энергетики»
филиал ОАО НТЦ «Электроэнергетика»

Н.Н. Лизалек, А.Н. Ладнова, В.Ф. Тонышев

DEVELOPING A MODEL OF SYSTEM-LEVEL FOR STRUCTURAL ANALYSIS OF THE STABILITY OF POWER SYSTEMS

«Novosibirsk state academy of water transport»

«Siberian scientific research institute of energetics», branch of JSC

STC «Electroenergetics»

N.N. Lizalek, A.N. Ladnova, V.F. Tonsyshev

Prerequisites for structural stability analysis of power systems using basic principles and theorems of classical mechanics are considered. Expressions for the structural analysis are obtained.

Keywords: the structural analysis of stability of power supply systems, function of Lagrangian, kinetic and potential energy of a power supply system in electromechanical transient

Рассмотрены предпосылки структурного анализа устойчивости энергосистем с использованием основных положений и теорем классической механики. Получены выражения для структурного анализа.

Энергосистема как среда, в которой происходят электромеханические колебания, характеризуется естественной структурной организацией колебательных движений. Она проявляется в формировании в переходном процессе однонаправленно движущихся, относительно центра инерции системы, групп синхронных машин [1].

Анализ энергетических соотношений при движении различных объектов иерархических уровней структурноорганизованного движения позволяет оценивать условия нарушения устойчивости этих объектов относительно их окружения.

Проведение исследований энергетических характеристик электромеханического колебательного процесса требует определения основных понятий: кинетической и потенциальной энергии, а также энергии колебаний нелинейной системы в электромеханическом переходном процессе. Для этого обратимся к положениям классической механики: принципу наименьшего действия и теореме об изменении кинетической энергии системы [2].

Наиболее общая формулировка закона движения механических систем дается так называемым принципом наименьшего действия (или принципом Гамильтона). Согласно этому принципу каждая механическая система характеризуется определенной функцией:

$$L(x_1, x_2, x_3, \dots, x_s, x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_s, t) = L(x_1, x_2, x_3, \dots, x_s, v_1, v_2, v_3, \dots, v_s, t),$$

от координат, скоростей и времени (в краткой записи $L(x, x', t)$ или $L(x, v, t)$), причем движение системы удовлетворяет следующему условию. Пусть в моменты времени t_1 и t_2 система занимает определенные положения, описываемые координатами x_1 и x_2 . Тогда между этими положениями система движется таким образом, чтобы интеграл:

$$S = \int_{t_1}^{t_2} L(x, x', t) dt, \quad (1)$$

имел наименьшее возможное значение. Функция L называется функцией Лагранжа, а интеграл S – действием. Для того, чтобы интеграл действия имел экстремальное значение, функция Лагранжа должна удовлетворять определенным дифференциальным уравнениям. Пусть $x(t)$ есть как раз та функция, для которой S имеет минимум. Это значит, что S возрастет при замене $x(t)$ на любую функцию вида $x(t) + \delta x(t)$, где $\delta x(t)$ -функция, малая на всем интервале от t_1 до t_2 (ее называют вариацией функции $x(t)$). Поскольку в моменты времени t_1 и t_2 все сравниваемые функции должны принимать одни и те же значения x_1 и x_2 , то должно быть: $\delta x(t_1) = \delta x(t_2) = 0$. Изменение S дается разностью

$$\int_{t_1}^{t_2} L(x + \delta x, x' + \delta x', t) dt - \int_{t_1}^{t_2} L(x, x', t) dt. \quad (2)$$

Разложение этой разности по степеням δx , $\delta x'$ в подынтегральном выражении начинается с членов первого порядка. Необходимым условием минимальности S является обращение в нуль совокупности этих членов. Таким образом, принцип наименьшего действия можно записать

$$\delta S = \delta \int_{t_1}^{t_2} L(x, x', t) dt = 0 \quad \text{или} \quad \int_{t_1}^{t_2} L \left(\frac{\partial L}{\partial x} \delta x + \frac{\partial L}{\partial v} \delta v \right) dt = 0. \quad (3)$$

Так как $\delta v = \delta x' = \frac{d}{dt} \delta x$ то, интегрируя второй член по частям, получим

$$\delta S = \frac{\partial L}{\partial x} \delta x \Big|_{t_1}^{t_2} + \int_{t_1}^{t_2} L \left(\frac{\partial L}{\partial x} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial v} \right) \delta x dt = 0. \quad (4)$$

С учетом соотношений на концах интервала: $\delta x(t_1) = \delta x(t_2) = 0$, первый член в этом выражении исчезает. Остается интеграл, который равен нулю при произвольных δx , что возможно, если подынтегральное выражение тождественно обращается в нуль. Таким образом, мы получаем уравнение для каждой координаты

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial v_i} - \frac{\partial L}{\partial x_i} = 0; \quad (i = 1, 2, \dots, s). \quad (5)$$

Это – искомые дифференциальные уравнения, они называются в механике уравнениями Лагранжа второго рода (далее, просто уравнениями Лагранжа). Если функция Лагранжа известна, то эти уравнения устанавливают связи между ускорениями, скоростями и координатами, то есть являются уравнениями движения механической системы.

Для системы невзаимодействующих материальных точек с массами m_i функция Лагранжа оказывается равной

$$L = \sum_i \frac{m_i V_i^2}{2}, \quad (6)$$

Для системы взаимодействующих материальных точек, функция Лагранжа получает добавку в виде функции координат. Обозначив эту добавочную функцию в виде W , запишем

$$L = \sum_i \frac{m_i V_i^2}{2} - W(x_1, x_2, \dots) = K - W. \quad (7)$$

Величина K – кинетическая энергия, а функция W – потенциальная энергия системы. Потенциальная энергия системы определена с точностью до прибавления к ней произвольной постоянной. Для функции Лагранжа, составленной из уравнений кинетической и потенциальной энергии системы, можно записать уравнение движения для каждой i -ой материальной точки

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = -\frac{\partial W}{\partial x_i}. \quad (8)$$

Уравнения движения в этой форме называются уравнениями Ньютона (второй закон Ньютона). Величина $F_i = -\partial W / \partial x_i$ называется силой, действующей на i -ую точку со стороны системы.

Используя определение силы, уравнения Лагранжа можно записать в наиболее общей форме

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial K}{\partial v_i} - \frac{\partial K}{\partial x_i} = F_i; \quad (i = 1, 2, \dots, s), \quad (9)$$

пригодной для описания систем, силовые взаимодействия в которых в полной мере могут и не описываться с помощью потенциальной функции. Если часть сил, действующих в системе, может быть описана с помощью понятия потенциальной энергии, а часть сил не может иметь потенциал (например, для диссипативных сил, зависящих от скорости), то уравнения Лагранжа приобретают форму

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial v_i} - \frac{\partial L}{\partial x_i} = F_i; \quad (i = 1, 2, \dots, s), \quad (10)$$

где F_i – непотенциальные силы;

L – функция Лагранжа, учитывающая потенциальные силы.

Если взаимодействие в системе исчерпывающе описывается с помощью потенциальной функции, то при ее движении выполняются важные законы сохранения.

Закон сохранения, связанный с однородностью времени. В силу этой однородности функция Лагранжа замкнутой системы от времени явно не зависит. Поэтому полная производная по времени от функции Лагранжа равна

$$\frac{dL}{dt} = \sum_i \frac{\partial L}{\partial x_i} x_i' + \sum_i \frac{\partial L}{\partial v_i} v_i' = \sum_i \frac{\partial L}{\partial x_i} v_i + \sum_i \frac{\partial L}{\partial v_i} v_i', \quad (11)$$

(то есть не содержит частной производной от функции Лагранжа по времени). Заменяя производные $\partial L / \partial x_i$ в соответствии с уравнениями Лагранжа, получим

$$\frac{dL}{dt} = \sum_i v_i \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial v_i} + \sum_i \frac{\partial L}{\partial v_i} v_i' = \sum_i \frac{d}{dt} \left(v_i \frac{\partial L}{\partial v_i} \right) \text{ или } \frac{d}{dt} \left(\sum_i v_i \frac{\partial L}{\partial v_i} - L \right) = 0. \quad (12)$$

Отсюда видно, что величина

$$\sum_i v_i \frac{\partial L}{\partial v_i} - L = \text{Const}. \quad (13)$$

остаётся неизменной при движении замкнутой системы. Эта величина называется энергией системы E . Системы, энергия которых сохраняется, называются консервативными. Так как

$$\sum_i v_i \frac{\partial L}{\partial v_i} = \sum_i v_i \frac{\partial K}{\partial v_i} = 2K, \quad (14)$$

то

$$E = 2K - L = K + W,$$

энергия системы равна сумме кинетической и потенциальной составляющих.

Закон сохранения, связанный с однородностью пространства. В силу этой однородности свойства системы не меняются при ее параллельном переносе как целого в пространстве. В соответствии с этим рассмотрим бесконечно малый перенос ε и потребуем, чтобы функция Лагранжа осталась неизменной. При неизменных скоростях изменение функции Лагранжа

при параллельном переносе

$$dL = \varepsilon \sum_i \frac{\partial L}{\partial x_i}. \quad (15)$$

Выполнение равенства $dL = 0$ при произвольном ε возможно только в случае

$$\sum_i \frac{\partial L}{\partial x_i} = 0. \quad (16)$$

Это соотношение означает, что сумма сил, действующих в замкнутой системе материальных точек, равна нулю. В силу уравнений Лагранжа получим

$$\frac{d}{dt} \sum_i \frac{\partial L}{\partial v_i} = 0. \quad (17)$$

Таким образом, в замкнутой системе величина P

$$P = \sum_i \frac{\partial L}{\partial v_i} = \text{Const}, \quad (18)$$

остаётся неизменной при движении. P называется импульсом системы. Импульс системы материальных точек оказывается равным

$$P = \sum_i m_i v_i. \quad (19)$$

Импульс – величина аддитивная как для системы невзаимодействующих материальных точек, так и при наличии взаимодействия между ними.

Импульс системы имеет разные значения в различных инерциальных системах координат. Если система отсчёта K движется относительно системы отсчёта K_0 со скоростью V , то импульсы связаны соотношением

$$P = \sum_i m_i v_i = \sum_i m_i v_{i0} + V \sum_i m_i = P_0 + V \sum_i m_i. \quad (20)$$

Всегда существует система отсчёта, в которой полный импульс обращается в нуль. Положив P равным нулю, найдем что скорость этой системы отсчёта равна

$$V = \frac{\sum_i m_i v_i}{\sum_i m_i} = \frac{\sum_i m_i v_i}{M}. \quad (21)$$

где M – полная масса системы.

Эта система отсчёта называется системой центра масс. Правая часть этой формулы может быть представлена как полная производная по времени от выражения

$$X' = \frac{\sum_i m_i v_i}{M}. \quad (22)$$

Скорость системы как целого есть скорость перемещения точки, положение которой в пространстве описывается координатой X . Такую точку называют центром инерции системы.

Выберем функцию Лагранжа для электромеханических колебаний энергосистемы, такую, чтобы уравнения Лагранжа второго рода давали бы известную модель электромеханического переходного процесса системного уровня. Напишем уравнения модели системного уровня. Для каждого узла с включенной синхронной машиной они имеют вид

$$\begin{cases} J_i \frac{d\Omega_{ei}}{dt} = M_{mi} - M_{ei} = \frac{P_{mi} - P_{ei}}{\Omega_{ei}}; \\ -P_{ei} + P_{hi} + \sum_j P_{ij} = 0; \\ -Q_{ei} + Q_{hi} + \sum_j Q_{ij} = 0, \end{cases} \quad (23)$$

где i – номер узла;

J_i – момент инерции синхронной машины;

Ω_{ei} – угловая скорость (угловая частота) вращения ее ротор;

M_{mi} – момент турбины;

M_{ei} – электромагнитный момент, действующий на ротор синхронной машины со стороны электрической системы;

P_{mi} – мощность турбины;

- P_{ai} – активная мощность синхронной машины, выдаваемая в систему;
 P_{hi} – активная мощность нагрузки, потребляемая в узле;
 P_{ij} – потоки активной мощности по линиям, отходящим от i -го узла;
 Q_{ei} – реактивная мощность синхронной машины, 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 синхронные машины) первое уравнение из (23) отсутствует, а в двух других – величины P_{ai} , Q_{ei} полагаются равными нулю.

Конкретный вид уравнений переходных процессов определяется соотношениями для установившегося режима участка симметричной трехфазной цепи. Используя известную П-образную схему замещения линии электропередачи, по концам которой приложены напряжения U_i, U_k с соответствующими фазовыми углами δ_i, δ_k , получим выражение для комплекса тока (за положительное направление принято направление, отходящее от узла)

$$i_{ik} = \frac{U_i \exp(j\delta_i) - U_k \exp(j\delta_k)}{R + jX_L} + jb_c U_i \exp(j\delta_i), \quad (24)$$

- где R – активное сопротивление линии;
 X_L – индуктивное сопротивление линии;
 b_c – емкостная проводимость половины линии;
 C – емкость половины линии;
 j – мнимая единица;
 Ω_0 – угловая частота переменных гармонических токов и напряжений в цепи,

$$b_c = \Omega_{0C}; \quad X_L = \Omega_{0L}; \quad \Omega_0 = 2\pi f_0.$$

С учетом того, что

$$Z^2 = R^2 + X_L^2; \quad g = \frac{R}{Z^2}; \quad b = \frac{X_L}{Z^2},$$

получим для активной и реактивной мощности, поступающей в линию от i -го узла P_{ik}, Q_{ik}

$$\begin{cases} P_{ik} = g_{ik} U_i^2 - g_{ik} U_i U_k \cos(\delta_i - \delta_k) + b_{ik} U_i U_k \sin(\delta_i - \delta_k), \\ Q_{ik} = -b_{ik} U_i^2 + b_{ik} U_i^2 - b_{ik} U_i U_k \cos(\delta_i - \delta_k) - g_{ik} U_i U_k \sin(\delta_i - \delta_k) \end{cases} \quad (25)$$

Активная и реактивная мощности генератора, выдаваемые в i -ый узел равны (их можно определить на основе (25)):

$$P_{ai} = b_{ei} E_i U_i \sin(\delta_{ei} - \delta_i); \quad Q_{ei} = -b_{ei} U_i^2 + b_{ei} E_i U_i \cos(\delta_{ei} - \delta_i), \quad (26)$$

где $b_{ei} = (\Omega_0 L_{ei})^{-1}$.

Активная и реактивная нагрузки в узле описываются своими статическими характеристиками по напряжению, то есть:

$$P_{hi} = P_{hi}(U_i); \quad Q_{hi} = Q_{hi}(U_i).$$

Энергия, запасенная в магнитном поле симметричной трехфазной линии электропередачи при ее работе в установившемся симметричном режиме, постоянна во времени и определяется соотношением

$$W_L = \frac{3}{2} L I^2. \quad (27)$$

Определяя квадрат тока через модули и фазовые углы междуфазных напряжений, получим

$$W_{Lik} = \frac{L_{ik}}{2Z_{ik}^2} [U_i^2 + U_k^2 - 2U_i U_k \cos(\delta_i - \delta_k)] = \frac{b_{ik}}{2\Omega_0} [U_i^2 + U_k^2 - 2U_i U_k \cos(\delta_i - \delta_k)]. \quad (28)$$

Аналогично определяется энергия магнитного поля статора электрической машины при ее замещении ЭДС E_i , приложенной за некоторым внутренним индуктивным сопротивлением X_{ei} :

$$W_{Lei} = \frac{L_{ei}}{2X_{ei}^2} [E_i^2 + U_i^2 - 2E_i U_i \cos(\delta_{ei} - \delta_i)] = \frac{b_{ei}}{2\Omega_0} [E_i^2 + U_i^2 - 2E_i U_i \cos(\delta_{ei} - \delta_i)]. \quad (29)$$

Энергия, запасенная в электрическом поле линии

$$W_{cik} = \frac{C_{ik}}{2} [U_i^2 + U_k^2] = \frac{b_{cik}}{2\Omega_0} [U_i^2 + U_k^2]. \quad (30)$$

Часть энергии электромагнитных полей системы связана с индуктивными W_{Lhi} и емкостными W_{Chi} цепями нагрузки. Полная энергия электромагнитных полей статорных цепей системы W_s определится суммированием по всем элементам системы

$$W_s = \sum_{ген} W_{Lai} + \sum_{связу} (W_{Lik} + W_{Cik}) + \sum_{наг} W_{Lhi} + \sum_{наг} W_{Chi}. \quad (31)$$

Введем функцию Лагранжа (иное, иногда используемое, название этой функции – кинетический потенциал) электромагнитного поля статорных цепей системы L_s

$$L_s = K_s - P_s, \quad (32)$$

где K_s, P_s – кинетическая и потенциальная энергии поля.

Так как энергия магнитного поля определена током в цепи, то есть скоростью перемещения заряда, то энергию магнитных полей квалифицируют как кинетическую. Энергию электрического поля относят к потенциальной энергии, то есть:

$$K_s = \sum_{ген} W_{Lai} + \sum_{связу} W_{Lik} + \sum_{наг} W_{Lhi}; \quad P_s = \sum_{связу} W_{Cik} + \sum_{наг} W_{Chi}. \quad (33)$$

Структура электромагнитных полей нагрузки системы подробно обычно не описывается. Представление нагрузки ограничивается ее кинетическим потенциалом, то есть разностью $L_{hi} = W_{Lhi} - W_{Chi}$. Другой особенностью нагрузки является, в общем случае, не квадратичный характер зависимости реактивной мощности от напряжения. Определим величину $L_{hi}(U_i)$ рассматривая ее как функцию верхнего предела интеграла в правой части (что дает естественное соотношение $L_{hi}(0) = 0$),

$$L_{hi}(U_i) = \frac{1}{\Omega_0} \int_0^{U_i} I_{phi}(u_i) du_i = \frac{1}{\Omega_0} \int_0^{U_i} \frac{Q_{hi}(u_i)}{u_i} du_i, \quad (34)$$

где I_{phi} – реактивный ток нагрузки i -го узла.

Энергия электромагнитного поля ЭЭС составляет только часть полной энергии, запасенной в ней. Энергия системы должна быть дополнена кинетической энергией вращающихся частей электрических машин. Это дополнение приводит к концепции электромеханического поля.

Дедуктивное определение электромеханического поля ЭЭС произведем через энергию и кинетический потенциал, связанные с ним. Кинетический потенциал L и энергию E электромеханического поля ЭЭС определим следующим образом:

$$L = K - L_s; \quad Y = K + L_s, \quad (35)$$

где K – кинетическая энергия вращающихся масс системы

$$K = 0,5 \sum_i J_i \Omega_{ai}^2 = 0,5 \sum_i J_i \left(\frac{d\delta_{ai}}{dt} \right)^2. \quad (36)$$

Из этого определения следует, что кинетическая составляющая энергии электромеханического поля ограничивается кинетической энергией вращения роторов электрических машин, а ее потенциальная составляющая равна кинетическому потенциалу электромагнитного поля статорных цепей ЭЭС.

Отметим, что в отличие от электромагнитного поля, составляющая, обусловленная магнитными полями, отнесена к потенциальной энергии электромеханического поля, а составляющая, связанная с электрическими полями в емкостях, входит в потенциальную энергию электромеханического поля с отрицательным знаком. Это связано с основным предположением о мгновенном затухании электромагнитных переходных процессов. Вследствие этого выключаются из подробного рассмотрения процессы перехода кинетической энергии магнитных полей в потенциальную энергию электрических полей, их описание ограничивается возникающим конечным состоянием.

ЭЭС является открытой системой, над которой совершается работа внешними силами – вращающимися моментами тепловых и гидравлических турбин. Активная нагрузка системы описывает поток энергии от системы во внешнюю среду. Внешнее силовое поле, в котором находится энергосистема, представляет собой ускоряющее поле вращающихся моментов турбин, приложенных к роторам синхронных машин, и тормозящих моментов, определяемых

приложенными в узлах сети активными нагрузками. Определим потенциальную энергию этого поля W_e через работу, совершаемую внешними силами при перемещениях, которые они вызывают, то есть

$$dW_e = -\sum_i M_{mi} d\delta_{ei} + \sum_i \frac{P_{hi}}{\Omega_0} d\delta_i, \quad (37)$$

где δ_{ei}, δ_i – абсолютные углы синхронной машины и вектора напряжения в узле (относительно неподвижной оси).

W_e получим как функцию верхних пределов суммы интегралов (с точностью до постоянной слагающей)

$$W_e = -\sum_i \int_{\delta_{ei0}}^{\delta_{ei}} M_{mi} d\delta_{ei} + \sum_i \int_{\delta_{i0}}^{\delta_i} \frac{P_{hi}}{\Omega_0} d\delta_i = -\sum_i \int_{\delta_{ei0}}^{\delta_{ei}} \frac{P_{mi}}{\Omega_0} d\delta_{ei} + \sum_i \int_{\delta_{i0}}^{\delta_i} \frac{P_{hi}}{\Omega_0} d\delta_i. \quad (38)$$

Определим полное потенциальное поле ЭЭС W как сумму внутренней потенциальной энергии системы и ее потенциальной энергии во внешнем силовом поле

$$W = W_e + L_s. \quad (39)$$

Функция Лагранжа и полная энергия ЭЭС становятся:

$$L = K - W; \quad E = K + W. \quad (40)$$

С учетом всех предыдущих выражений величины K и W определяются:

$$K = \frac{1}{2} \sum_{\text{машины}} J_i \Omega_{ei}^2 = \frac{1}{2} \sum_{\text{машины}} J_i \left(\frac{d\delta_{ei}}{dt} \right)^2; \quad (41)$$

$$W = \frac{1}{2\Omega_0} \left[\sum_{\text{связи}} \left\{ b_{ik} [U_i^2 + U_k^2 - 2U_i U_k \cos(\delta_i - \delta_k)] - b_{cik} (U_i^2 + U_k^2) \right\} + \right. \\ \left. + \sum_{\text{машины}} \left\{ b_{ei} [E_i^2 + U_i^2 - 2E_i U_i \cos(\delta_{ei} - \delta_i)] - 2 \int_{\delta_{ei0}}^{\delta_{ei}} P_{mi} d\delta_{ei} \right\} + 2 \left\{ \sum_{\text{нагрузки}} \left[\int_0^{U_i} \frac{Q_{hi}}{u_i} du_i + \int_{\delta_{i0}}^{\delta_i} P_{hi} d\delta_i \right] \right\} \right]. \quad (42)$$

Введем функцию потерь в линиях, определив ее как:

$$E_n = \frac{3}{2} \sum_{\text{связи}} R I^2 = \frac{1}{2} \sum_{\text{связи}} g_{ik} [U_i^2 + U_k^2 - 2U_i U_k \cos(\delta_i - \delta_k)]. \quad (43)$$

Тогда, учитывая, что:

$$\frac{\partial L}{\partial (dU_i/dt)} = 0; \quad \frac{\partial L}{\partial (d\delta_i/dt)} = 0,$$

уравнения переходных процессов (23) можно представить в форме

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial (d\delta_{ei}/dt)} \right) - \frac{\partial L}{\partial \delta_{ei}} = 0; \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial (d\delta_i/dt)} \right) - \frac{\partial L}{\partial \delta_i} = -\frac{1}{\Omega_0} U_i \frac{\partial E_n}{\partial U_i}; \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial (dU_i/dt)} \right) - \frac{\partial L}{\partial U_i} = \frac{1}{\Omega_0 U_i} \frac{\partial E_n}{\partial \delta_i}, \end{cases} \quad (44)$$

в чем легко убедиться, проведя расчет частных производных и сопоставив полученные выражения с уравнениями (23). Если на ротор синхронной машины дополнительно действует демпфирующий момент M_{dei} , то уравнения Лагранжа имеют вид

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial (d\delta_{ei}/dt)} \right) - \frac{\partial L}{\partial \delta_{ei}} = M_{dei}; \\ -\frac{\partial L}{\partial \delta_i} = -\frac{1}{\Omega_0} U_i \frac{\partial E_n}{\partial U_i}; \\ -\frac{\partial L}{\partial U_i} = \frac{1}{\Omega_0 U_i} \frac{\partial E_n}{\partial \delta_i}. \end{cases} \quad (45)$$

При пренебрежении активными сопротивлениями линий электропередач функция потерь становится равной нулю и, соответственно, обращаются в нуль правые части в последних двух уравнениях системы (45).

Рассмотрим некоторую траекторию перемещения системы на интервале времени $(t_1 - t_2)$, заданную в виде функций времени $\delta_{ai}(t), U_i(t), \delta_i(t)$. Функции $\delta_{ai}(t), U_i(t), \delta_i(t)$ описывают перемещение (действительную траекторию), удовлетворяющее уравнениям движения синхронных машин и уравнениям баланса мощностей. При отсутствии потерь активной мощности и демпфирующих сил (нули в правых частях (45) то есть консервативная модель системы) должен выполняться закон сохранения энергии. Изменение полной энергии консервативной системы при ее перемещении (равное нулю) определится

$$\begin{aligned} \int_{t_1}^{t_2} dE &= \int_{t_1}^{t_2} dK + \int_{t_1}^{t_2} dW = \int_{t_1}^{t_2} dK + \int_{t_1}^{t_2} \sum_{\text{машины}} \frac{\partial W}{\partial \delta_{ai}} \frac{d\delta_{ai}}{dt} dt + \int_{t_1}^{t_2} \sum_{\text{узлы}} \frac{\partial W}{\partial \delta_i} \frac{d\delta_i}{dt} dt + \int_{t_1}^{t_2} \sum_{\text{узлы}} \frac{\partial W}{\partial U_i} \frac{dU_i}{dt} dt = \\ &= \int_{t_1}^{t_2} dK + \sum_{\text{машины}} \int_{\delta_{ai}(t_1)}^{\delta_{ai}(t_2)} \frac{\partial W}{\partial \delta_{ai}} d\delta_{ai} + \sum_{\text{узлы}} \int_{\delta_i(t_1)}^{\delta_i(t_2)} \frac{\partial W}{\partial \delta_i} d\delta_i + \sum_{\text{узлы}} \int_{U_i(t_1)}^{U_i(t_2)} \frac{\partial W}{\partial U_i} dU_i = \\ &= \int_{t_1}^{t_2} dK + \sum_{\text{машины}} \int_{\delta_{ai}(t_1)}^{\delta_{ai}(t_2)} \frac{\partial W}{\partial \delta_{ai}} d\delta_{ai} - \sum_{\text{узлы}} \int_{\delta_i(t_1)}^{\delta_i(t_2)} \frac{\partial L}{\partial \delta_i} d\delta_i - \sum_{\text{узлы}} \int_{U_i(t_1)}^{U_i(t_2)} \frac{\partial L}{\partial U_i} dU_i = \int_{t_1}^{t_2} dK + \sum_{\text{машины}} \int_{\delta_{ai}(t_1)}^{\delta_{ai}(t_2)} \frac{\partial W}{\partial \delta_{ai}} d\delta_{ai} = 0. \end{aligned} \quad (46)$$

При получении (46) учтено, что кинетическая энергия системы явно от координат $\delta_{ai}, U_i, \delta_i$ не зависит и для консервативной системы частные производные от функции Лагранжа по углам и модулям напряжений каждого узла в каждой точке траектории равны нулю согласно (45). Использование производных по времени в (46) подчеркивает то обстоятельство, что частные производные и дифференциалы координат системы определяются в один и тот же момент времени t (что и позволяет произвести замену пределов интегрирования определенных интегралов). Из (46) следует вывод, что изменение потенциальной энергии на перемещениях консервативной системы связано с работой, совершаемой только при изменении углового положения роторов синхронных машин. Происходящие при этом изменения остальных координат системы U_i, δ_i напрямую не приводят к изменениям потенциальной энергии (только опосредовано, за счет зависимости электромагнитных моментов на валах машин от этих координат). Действительно, взяв частные производные по углам синхронных машин, получим соотношение представляющее собой закон сохранения энергии консервативной системы при ее движении

$$\int_{t_1}^{t_2} dE = \int_{t_1}^{t_2} dK + \sum_{\text{машины}} \int_{\delta_{ai}(t_1)}^{\delta_{ai}(t_2)} \frac{\partial W}{\partial \delta_{ai}} d\delta_{ai} = \int_{t_1}^{t_2} dK - \sum_{\text{машины}} \int_{\delta_{ai}(t_1)}^{\delta_{ai}(t_2)} \Delta M_i(\delta_{ai}, U_i, \delta_i) d\delta_{ai} = 0. \quad (47)$$

где ΔM_i – небаланс моментов на валу i -ой синхронной машины

$$\Delta M_i = M_{mi} - M_{ai}.$$

Теорема об изменении кинетической энергии движущихся масс механической системы формулируется так: изменение кинетической энергии системы равно работе, совершаемой при перемещении движущихся масс. Кинетическая энергия системы ограничивается кинетической энергией вращающихся масс (роторов синхронных машин). Сумма приложенных к ротору сил дается разностью ускоряющего момента турбины и тормозного электромагнитного момента. Для i -ой машины

$$J_i \frac{d\Omega_{ai}}{dt} = M_{mi} - M_{ai} = \Delta M_i = \frac{P_{mi} - P_{ai}}{\Omega_{ai}} = \frac{\Delta P_i}{\Omega_{ai}}, \quad (48)$$

или, определяя дифференциал кинетической энергии

$$J_i \Omega_{ai} d\Omega_{ai} = d\left(\frac{J_i \Omega_{ai}^2}{2}\right) = dK_i = \Delta P_i dt, \quad (49)$$

где K_i – кинетическая энергия вращающейся массы машины;

ΔM_i – разность моментов, приложенных к ротору (небаланс момента на валу);

ΔP_i – разница между мощностью, развиваемой турбиной, и активной мощностью, выдаваемой в сеть (небаланс мощности).

Изменение импульса вращающейся массы синхронной машины непосредственно описывается уравнением движения:

$$dI_i = J_i d\Omega_{ai} = \Delta M_i dt; \quad \int_{t_1}^{t_2} dI_i = I_i(t_2) - I_i(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} \Delta M_i dt. \quad (50)$$

Изменение кинетической энергии любой совокупности машин вычисляется простым

суммированием, то есть теорема применима к произвольной части системы – подсистеме или системе в целом

$$\left\{ \begin{aligned} \sum_{i_s} dK_i &= dK_s = \sum_{i_s} \Delta P_i dt = \Delta P_s dt; \\ \int_{t_1}^{t_2} dK_s &= K_s(t_2) - K_s(t_1) = \sum_{i_s} \int_{t_1}^{t_2} \Delta P_i dt = \int_{t_1}^{t_2} \Delta P_s dt, \end{aligned} \right. \quad (51)$$

где i_s – совокупность узлов s -ой подсистемы;

K_s – кинетическая энергия s -ой подсистемы;

ΔP_s – суммарный небаланс мощности на валах синхронных машин в подсистеме.

Изменение суммарного импульса совокупности машин также определяется суммированием изменений их импульсов:

$$\sum_{i_s} dl_i = \sum_{i_s} J_i d\Omega_{ei} = dl_s = \sum_{i_s} \Delta M_i dt = \Delta M_s dt; \quad (52)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} dl_s = l_s(t_2) - l_s(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} \Delta M_s dt, \quad (53)$$

где ΔM_s – суммарный небаланс моментов на валах синхронных машин в подсистеме.

Правые части соотношений (51) могут быть представлены в виде

$$\left\{ \begin{aligned} dK_s &= \sum_{i_s} \Delta M_i \Omega_{ei} dt = \sum_{i_s} \Delta M_i d\delta_{ei}; \\ \int_{t_1}^{t_2} dK_s &= K_s(t_2) - K_s(t_1) = \sum_{i_s} \int_{t_1}^{t_2} \Delta M_i \Omega_{ei} dt = \sum_{i_s} \int_{\delta_{ei}(t_1)}^{\delta_{ei}(t_2)} \Delta M_i d\delta_{ei}. \end{aligned} \right. \quad (54)$$

Из (54) видно, что изменение кинетической энергии подсистемы равно сумме работ, совершаемых небалансами моментов на абсолютных угловых перемещениях роторов (относительно неподвижной оси). Интегралы работ из (54) представляет собой интегралы по траектории движения.

Отметим, что (54), записанное для всей системы, совпадает с выражением (47). Однако равенства системы (54) имеют несколько иной физический смысл, который позволяет использовать их без ограничений на характер действующих в системе моментов (они пригодны не только для консервативной модели). Это связано с тем, что при получении (54) не использовались никакие ограничения на характер моментов, действующих на роторы синхронных машин при их движении.

Выводы:

1 Совпадение классических уравнений Лагранжа второго рода для определенной выше функции Лагранжа с уравнениями электромеханических переходных процессов в электроэнергетических системах позволяет считать правомочным введенные определения для кинетической и потенциальной энергии системы в электромеханическом переходном процессе.

2 Из уравнений Лагранжа следует важный вывод о том, что основные моменты, действующие в системе (моменты турбин, тормозные моменты, определяемые нагрузками, синхронизирующие моменты) являются потенциальными силами (для консервативной модели), то есть работа, совершаемая ими по замкнутому пути в консервативной идеализации модели, равна нулю.

3 Определение кинетической энергии системы в электромеханическом переходном процессе позволяет применить одну из наиболее общих теорем механики об изменении кинетической энергии.

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 Дальнего Востока. -2009. -№1. -С. 54-65.

2 Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: учеб. пособие. В 10т. Т.I. Механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. -4-е изд., испр. -М.: Наука, 1988. -216 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

структурный анализ устойчивости энергосистем, функция Лагранжа, кинетическая и потенциальная энергия энергосистемы в электромеханическом переходном процессе

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Лизалек Николай Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Ладнова Александра Николаевна, ведущий инженер «СибНИИЭ» филиал ОАО НТЦ «Электроэнергетика»
Тоньшев Владимир Федорович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»
630126, г. Новосибирск, ул. Кленовая, 10/1, «СибНИИЭ»

ВЫБОР ДЛИН ПРОЛЕТОВ В АНКЕРНОМ УЧАСТКЕ ПОЛУКОМПЕНСИРОВАННОЙ КОНТАКТНОЙ ПОДВЕСКИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»
ООО «Транскомплектэнерго»

Г.П. Маслов, В.В. Свешников, Г.Ю. Севастьянов

CHOICE OF LENGTHS OF FLIGHTS IN ANKERHOM THE SITE OF THE SEMICOMPENSATED CONTACT SUSPENDER OF THE MAIN ELECTRIC RAILWAYS

«Omsk state transport university»

«Transkomplektjenergo»

G.P. Maslov, V.V. Sveshnikov, G.Yu. Sevast'janov

Horizontal and vertical wind conveyances of contact conductors of the semi compensated contact suspender of the main electric railways are considered. It is shown that in flight in length of 70 m at speed of a wind of a deviation of contact conductors of 30 km/s from a way shaft exceed 0,5 m therefore reliable network contact piece is not provided. It is offered to define for reduction of these deviations the maximum length of flight taking into account its removal on from-carrying to the beginning anchor a site, proceeding from an actual tension of a contact conductor.

Keywords: contact suspender, wind, conveyances of wires, length of flight

Рассматриваются горизонтальные и вертикальные ветровые перемещения контактных проводов полукомпенсированной контактной подвески магистральных электрических железных дорог. Показано, что в пролете длиной 70 м при скорости ветра 30 м/с отклонения контактных проводов от оси пути превышают 0,5 м, в результате чего не обеспечивается надежный токосъем. Предлагается для уменьшения этих отклонений максимальную длину пролета определять с учетом его удаления по отношению к началу анкерного участка, исходя из фактического натяжения контактного провода.

В процессе эксплуатации контактная сеть подвержена воздействию ряда факторов, оказывающих влияние на ее работу. Одним из таких факторов является ветер.

Ветер, помимо дополнительной нагрузки на элементы контактной сети, изменяет габаритное положение проводов контактной подвески, что оказывает существенное влияние на процесс ее механического взаимодействия с токоприемником.

В зависимости от направления ветра под его воздействием провода могут перемещаться как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях.

Горизонтальные перемещения контактных проводов ветром строго регламентированы и их допустимые отклонения от оси пути не должны превышать 0,5 м [1]. Увеличение отклонений более указанного не позволяет обеспечить безопасный проход токоприемника. Нарушение габаритного положения проводов вызывает также изменение отдельных показателей контактной подвески [2].

Вертикальные перемещения контактных проводов под действием ветра как правило не регламентируются. Однако при воздействии токоприемника на контактные провода в опорном узле должен быть обеспечен его безопасный проход под фиксатором при установленной скорости движения и ветре максимальной интенсивности. При этом расстояние между контактным проводом и основным стержнем фиксатора нормировано [1].

Кроме того, под действием ветра могут происходить «опрокидывания» или «раскрытия» фиксаторов, что приводит к повреждениям контактной подвески и токоприемников при их взаимодействии [3].

Рассмотрим отклонения от оси пути контактных проводов при воздействии на них ветра. Воспользуемся прямоугольной системой координат $x - y$ (рисунок 1), предположив, что ось x расположена по направлению перемещений проводов в горизонтальной, а ось y – в вертикальной плоскостях.

Ветровой поток вызывает аэродинамические силы, которые приводятся к главному век-

тору аэродинамических сил. Обычно он представляется проекциями по осям используемой системы координат.

Проекции главного вектора P_e на оси x, y принято называть лобовым сопротивлением P_{ex} и подъемной силой P_{ey} соответственно. Величина этих сил зависит от скорости набегающего воздушного потока (ветра) V_e , угла атаки α , определяющего положение провода по отношению к этому потоку, и формы его сечения, которая характеризуется аэродинамическими коэффициентами лобового сопротивления c_x и подъемной силы c_y .

Аэродинамическая сила, действующая на один погонный метр провода, может быть определена по классической формуле

$$P_e = c S_m \rho \frac{V_e^2}{2}, \quad (1)$$

где c – аэродинамический коэффициент лобового сопротивления c_x или подъемной силы c_y , принимаемый в зависимости от направления силы;
 S_m – площадь миделевого сечения;
 ρ – массовая плотность воздуха.

Для оценки ветроустойчивости полукомпенсированной контактной подвески выполнен расчет перемещений контактных проводов под действием ветра. В качестве расчетного принят пролет длиной 70 м и скорость ветра – 20, 25 и 30 м/с. По результатам расчета установлены зависимости отклонений контактных проводов от оси пути b_k в различных точках пролета и при указанных скоростях ветра (рисунок 2).

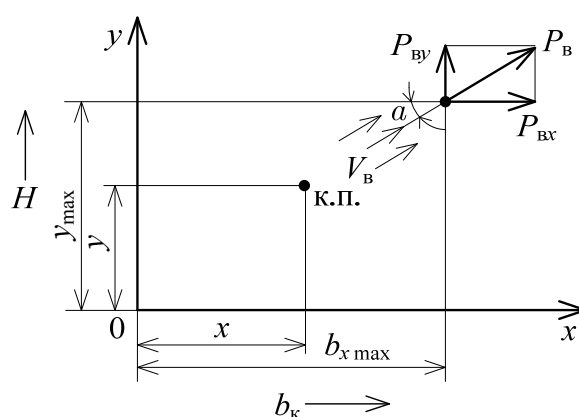


Рисунок 1 – Система координат: (x, y) -координаты провода при отсутствии ветра; $(b_{x \max}, y_{\min})$ - координаты провода при воздействии ветра

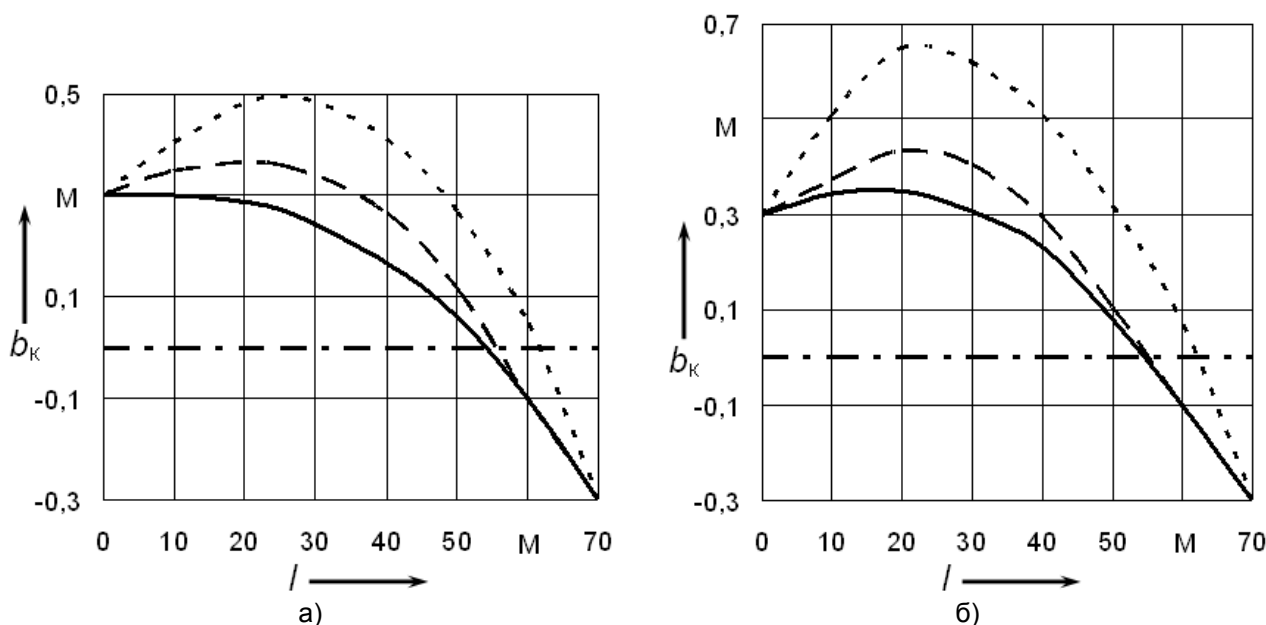


Рисунок 2 – Ветровые отклонения контактных проводов подвесок: а) М-120+2МФ-100; б) ПБСМ-95+МФ-100 (сплошная линия при 20 м/с; пунктирная при 25 м/с; точки при 30 м/с; штрихпунктирная – ось пути)

Из приведенных данных видно (см. рисунок 2), что максимальное отклонение контактных проводов от оси пути при скорости ветра 30 м/с в пролете 70 м контактной подвески М-120+2МФ-100 предельно допустимое, а подвески с составом проводов ПБСМ-95+МФ-100 – превышает это значение.

Известно [4], что в реальных условиях натяжение контактного провода полукompенсированной подвески не остается постоянным, а зависит от места положения пролета в анкерном участке. В этом случае натяжение контактного провода с учетом его удлинения и наклона струн определяется выражением

$$K_i = K_{i-1} - \frac{R_i}{C_i} \delta_i, \quad (2)$$

где K_{i-1} – натяжение контактного провода в предыдущем пролете;

R_i – реакция струны;

C_i – длина отклонившейся от первоначального положения струны;

δ_i – удлинение контактного провода.

При положительных температурах окружающей среды натяжение уменьшается и достигает наименьших значений в средней части анкерного участка. Отсюда следует, что в середине анкерного участка в указанных условиях отклонения проводов от оси пути ветром могут превышать допустимую величину.

Вертикальные ветровые перемещения контактных проводов, которые имеют место на высоких насыпях, при отсутствии токоприемника и скорости ветра 30 м/с составляют 0,1 м.

Для повышения ветроустойчивости контактных подвесок в условиях эксплуатации используются различные технические решения: установка жестких распорок в фиксаторном узле на ветровых участках; подвязка подвижных стержней фиксаторов ветровыми тросиками; использование ветровых схем расположения проводов; сокращение длин пролетов и др.

Наиболее радикальным способом повышения ветроустойчивости проводов контактной подвески является выбор максимальной длины пролета исходя из фактического натяжения контактного провода, определяемого его местоположением в анкерном участке. В этом случае предлагается при трассировке контактной сети пролет максимальной длины, полученный при натяжении контактного провода 10 кН, принимать только в начале анкерного участка. Далее длина каждого пролета уменьшается на 1-2 м по сравнению с длиной предыдущего.

Используя предложенный принцип трассировки контактной сети, при капитальном ее ремонте на одном из ветровых участков Западно-Сибирской железной дороги выполнена разбивка опор предложенным способом. За трехлетний период эксплуатации не зафиксировано отклонений контактных проводов, превышающих допустимое, даже при ветре 29 м/с.

Выводы:

1 При определении длин пролетов контактной сети магистральных электрических железных дорог натяжение контактных проводов полукompенсированных подвесок рекомендуется определять с учетом местоположения пролета в анкерном участке.

2 Трассировку контактной сети необходимо выполнять с постепенным уменьшением пролета на 1-2 м по сравнению с длиной предыдущего вплоть до средней анкеровки, при этом максимальный из них принимать только в начале анкерного участка, где натяжение контактных проводов равно номинальному.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог. -М.: Транспорт, 2002. -184 с.

2 Маслов, Г.П. Влияние ветровых отклонений контактных проводов на показатели контактной подвески / Г.П. Маслов, В.А. Акулов, В.Н. Ли // Электроснабжение железных дорог: межвуз. темат. сб. науч. тр. / Ом. гос. ун-т путей сообщения. -Омск, 2007. -С. 47-50.

3 Горошков, Ю.И. Ветроустойчивость контактной сети / Ю.И. Горошков, А.И. Гуков. -М.: Транспорт, 1969. -128 с.

4 Михеев, В.П. Контактные сети и линии электропередачи / В.П. Михеев. -М.: Маршрут, 2003. -416 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: контактная подвеска, ветер, перемещения проводов, длина пролета

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Маслов Геннадий Петрович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Свешников Вадим Васильевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Севастьянов Георгий Юрьевич, начальник управления ООО «Транскомплектэнерго»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К.Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

630004, г. Новосибирск, пр. Комсомольский, 1, корп.2, ООО «Транскомплектэнерго»

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 10 кВ С РАЗЛИЧНЫМИ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.М. Асосков, В.В. Горелов, В.П. Горелов, Ю.М. Иванова,
К.С. Мочалин, А.А. Руппель

RESEARCH OF QUALITY OF FUNCTIONING OF AN ELECTRIC NETWORK 10 kV WITH VARIOUS OPERATING MODES OF A NEUTRAL

«Novosibirsk state academy of water transport»

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

S.M. Asoskov, V.V. Gorelov, V.P. Gorelov, Ju.M. Ivanova, K.S. Mochalin, A.A. Ruppel'

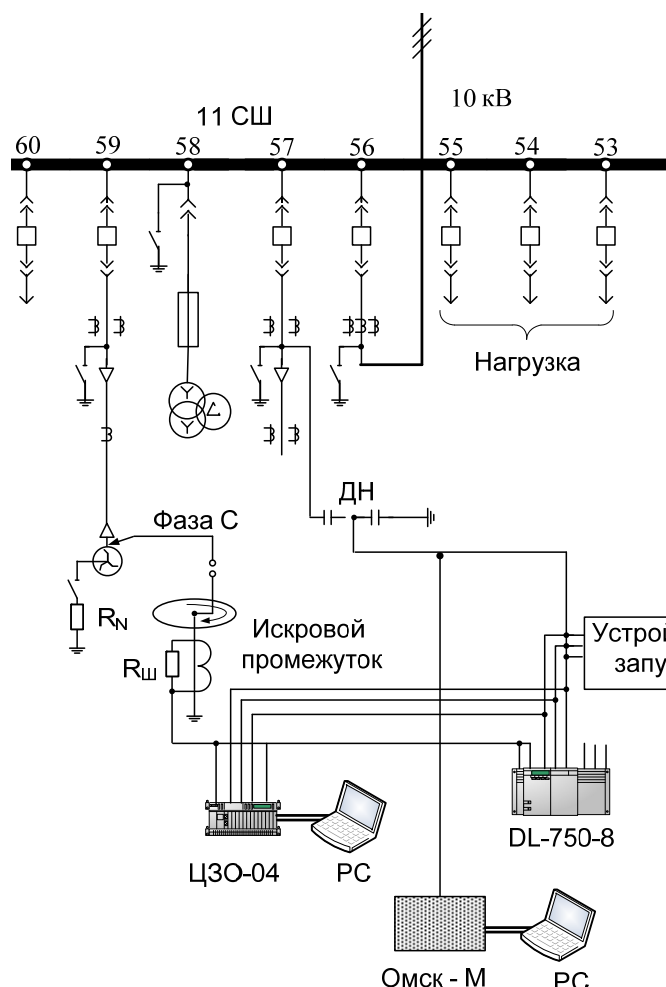
Results of the spent experiments by definition of quality of work of an electric network 10 kV with the isolated and resistive-earthed neutral are resulted.

Keywords: electrical networks, conducted, quality

Приведены результаты проведённых экспериментов по определению качества работы электрической сети 10 кВ с изолированной и резистивно-заземлённой нейтралью.

Для повышения качества функционирования технических средств необходимо подавить кондуктивную электромагнитную помеху (ЭМП). Решить эту задачу можно путём применения специальных мер по помехозащитности (ПЗ) и по повышению помехоустойчивости (ПУ) технических средств. При этом ПЗ и ПУ выполняют одну и ту же функцию подавления δX , поэтому они объединяются в один класс помехоподавляющих технических средств (ППТС). Выбор и разработка технических средств и решений по подавлению кондуктивных ЭМП возможны в едином параметрическом пространстве. Разработана концепция повышения качества функционирования технических средств при сложной электромагнитной обстановке (ЭМО).

Поэтому важным является экспериментальное исследование качества функционирования сети 10 кВ с изолированной нейтралью как рецептора [1, 2]. Приводятся требования и



Ввод 10 кВ
11 СШ
VD4/P 12
FUSE SIBA
ТН ТРУ-4
ДН-10
ФМ30-200/11
РЗ-500-68-10
ТТ ТЛМ-10 150/5
Измерительные кабели РК-50
Цифровые осциллографы
Измерительно-вычислительный комплекс

Рисунок 1 – Электрическая схема подключения приборов и оборудования для измерения коэффициента искажений синусоидальности кривой напряжения и осциллографирования фазных напряжений и тока замыкания фазы на землю

методический подход к измерению показателей при некачественной электроэнергии. Обосновано применение комплексного метода записи переходных процессов (рисунок 1).

Измерение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения K_U осуществлялось информационно-вычислительным комплексом (ИВК) «Омск-М». Обработка результатов измерений показала, что в диапазоне измерения K_U от 5 до 8% формируется кондуктивная ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения δK_U . Распределение δK_U соответствует нормальному закону распределения случайной величины теории вероятностей.

Определены моменты распределения δK_U $M[\delta K_U] = 4,62\%$, $\sigma[\delta K_U] = 0,42\%$. Вероятность появления δK_U в заданном диапазоне (0,13) определялась по формуле

$$P(\delta K_U) = 0,95 \int_5^8 \exp \left[- \frac{(K_U - 4,62)^2}{0,35} \right] dK_U - 0,05. \quad (1)$$

Вычисление определённого интеграла произведено с помощью функции Лапласа. $P(\delta K_U) = 0,13$.

Осциллографирование фазных напряжений и тока замыкания на землю проводилось с помощью цифрового запоминающего осциллографа типа DL-750-8. Программное обеспечение этого осциллографа позволяет выполнить обработку осциллограмм и передать данные в другие программы для определения гармонического состава и амплитуд. Математические возможности пакета программ Matlab позволяют осуществить эти операции.

Сформулирована и решена методом механических квадратур задача интерполяции – определение зависимости резонансной частоты высших гармонических составляющих тока металлического замыкания фазы на землю в сетях среднего напряжения f (Гц) от ёмкостного тока сети I_c (рисунок 2). Получен интерполяционный многочлен второй степени

$$f = 750 + \frac{300}{I_*} - \frac{9}{I_*^2}; \quad (2)$$

$$I_* = I_c / I_{c,g},$$

где $I_{c,g}$ – допустимое значение ёмкостного тока сети с изолированной нейтралью, А.

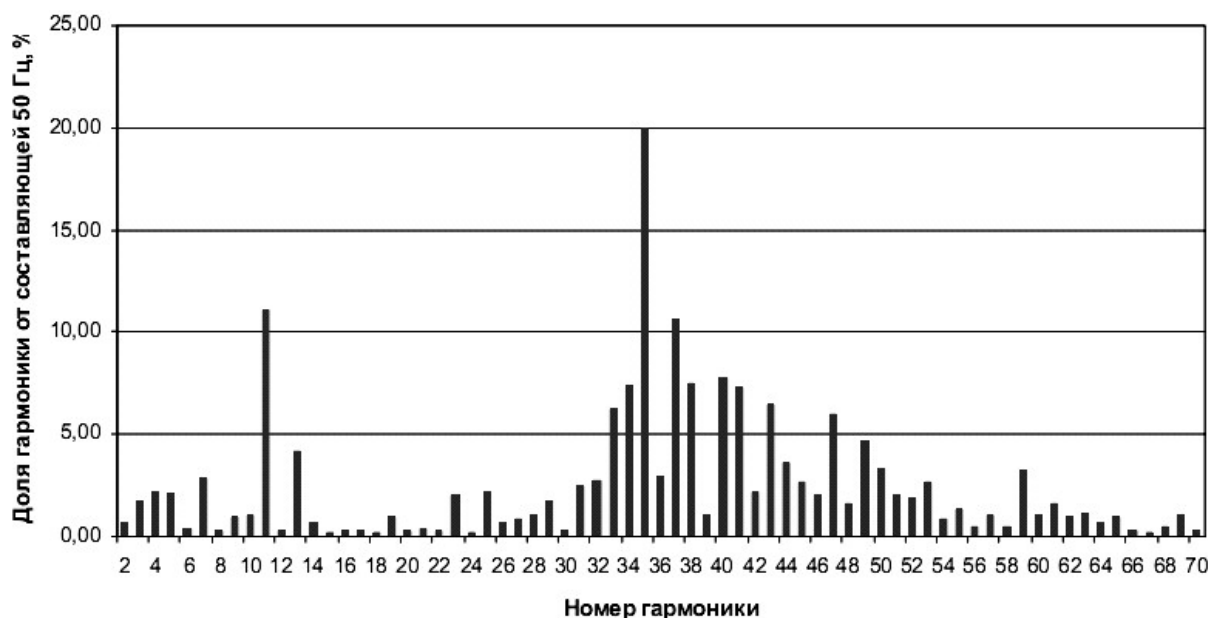


Рисунок 2 – Гармонический состав тока металлического однофазного замыкания на землю при $I_c = 4,68$ А

Областью применения математической модели является сети с напряжением от 6 до 35 кВ при $M[\delta K_U] \leq 5\%$, $0,15 \leq I_* \leq 0,3$. Относительная ошибка расчёта f с вероятностью 0,95 не превышает $\pm 10\%$.

Исследовались дуговые замыкания фазы на землю. Применялся искровой промежуток

(см. рисунком 1) с шаровыми медными электродами. За счёт заданной скорости вращения подвижного электрода (один оборот за 5 с) обеспечивалось горение перемещающейся дуги при схождении – расхождении.

Анализ осциллограммы показал, что: частоты переходных процессов по напряжению в неповреждённых фазах составляют от 1,72 до 1,9 кГц, а для повреждённой фазы – от 20 до 25 кГц; кратность коммутационного импульсного напряжения находится в пределах от 2,64 до 4,3; частота высших гармонических составляющих тока дуги находится в пределах от 1,7 до 2,0 кГц; при зажигании дуги бросок ёмкостного тока может быть более 1,0 кА.

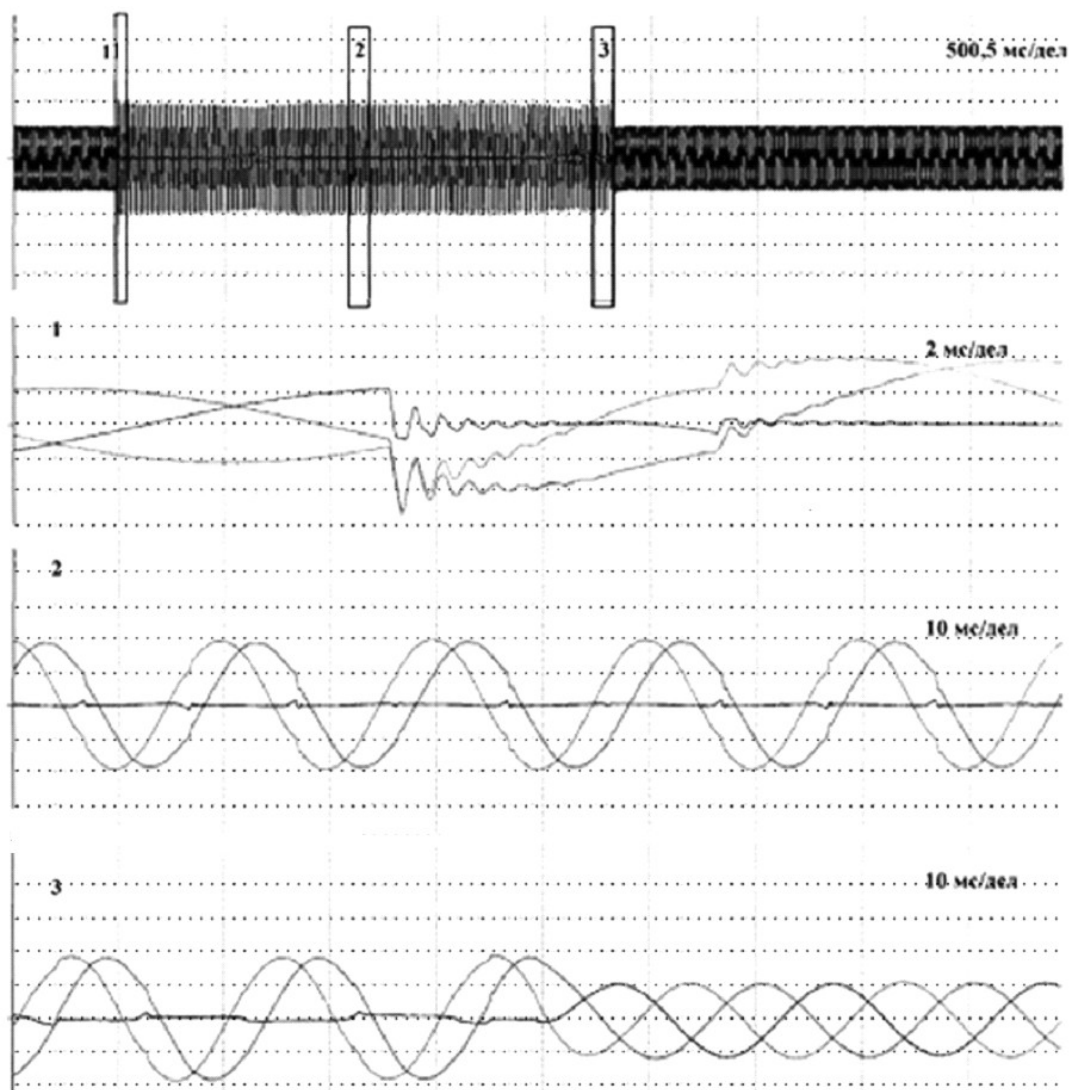


Рисунок 3 – Осциллограммы фазных напряжений в сети 10 кВ при дуговом однофазном замыкании на землю и резистивном заземлении нейтрали: масштаб – 7,4 кВ/дел.

Проводилось экспериментальное исследование эффективности резистивного заземления нейтрали при дуговом замыкании фазы на землю. Характерная осциллограмма фазных напряжений сети 10 кВ приведена на рисунке 3. Дуга горит устойчиво при выполнении условия

$$I_R = (1,8...2,5) I_c, \quad (3)$$

где I_R – активный ток через резистор, А;

I_c – ёмкостной ток, А.

Кратность коммутационных импульсных напряжений с вероятностью 0,95 снижается в 1,2 раза.

Даются рекомендации по повышению качества функционирования сетей среднего напряжения как рецепторов в ЭЭС [2, 3].

Представлена схема ограничения влияния кондуктивных ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения, коммутационных импульсных напряжений при

ОДЗ на землю и резонансных явлений, возникающих при металлическом ОЗЗ на землю, на качество функционирования сети напряжением от 6 до 35 кВ как рецептора. Основным элементом этой схемы ограничения является режим нейтрали.

Обосновывается, что резистивное замыкание является наиболее эффективным для достижения цели. Сформированы технические условия повышения качества функционирования сетей от 6 до 35 кВ как рецепторов при некачественной электроэнергии (минимальные значения сопротивлений резисторов и времени разряда ёмкости сети; времени срабатывания релейной защиты фидера подстанции и алгоритм её действия).

Рекомендуется для определения стоимости работы (услуги) по определению параметров качества функционирования сетей среднего напряжения применять нормативно-параметрический метод, который учитывает немонопольный характер оказываемых услуг на рынке электроэнергетического консалтинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Электромагнитная обстановка в сети 10 кВ с изолированной нейтралью как рецепторе / Ю.М. Иванова [и др.] // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№1, спецвып.: Энергосистема: исследование свойств, управление, автоматизация: материалы междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, Россия, 26-29 мая 2009 г. -Новосибирск, 2009. - С. 219-223.

2 Эффективность подавления кондуктивных электромагнитных помех по току замыкания на землю в сетях от 6 до 35 кВ / Ю.М. Иванова [и др.] // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№2. -С. 261-264.

3 Управление кондуктивными электромагнитными помехами в сетях электроэнергетической системы / Ю.М. Иванова [и др.] // Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования: материалы Всерос. науч.-техн. конф., Томск, 12-14 мая 2008 г. -Томск, 2008. -С. 30-32.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электрические сети, кондуктивная помеха, качество

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Асосков Сергей Михайлович, аспирант ФГОУ ВПО «НГавт»

Горелов Василий Васильевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГавт»

Горелов Валерий Павлович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавт»

Иванова Юлия Михайловна, аспирант ФГОУ ВПО «НГавт»

Мочалин Константин Сергеевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГавт»

Руппель Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГавт»

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

644043, г. Омск, ул. И.Алексеева, 4, «Омский ИВТ»

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ ТОКОПРИЕМНИКОВ С КОНТАКТНЫМИ ПОДВЕСКАМИ В ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЛЕТАХ СОПРЯЖЕНИЙ АНКЕРНЫХ УЧАСТКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

К.Р. Халиков

FEATURES OF INTERACTION OF TWO CURRENT COLLECTORS WITH CONTACT SUSPENDERS IN TRANSITIVE FLIGHTS OF INTERFACES OF SITES OF ELECTRIC RAILWAYS

«Omsk state transport university»

K.R. Halikov

The new method of calculation of interaction of two current collectors with two contact suspenders in transitive flights of interfaces of sites of electric railways is offered.

Keywords: current collector, electric railways

Предложен новый метод расчета взаимодействия двух токоприемников с двумя контактными подвесками в переходных пролетах сопряжений анкерных участков электрических железных дорог.

Процесс взаимодействия токоприемников с контактными подвесками на сопряжениях анкерных участков имеет ряд характерных особенностей в силу резко изменяющихся массы и жесткости подвески, приведенных к точке контакта, при подхвате токоприемником контакт-

ного провода (проводов) второй контактной подвески. В случае наличия нескольких рабочих токоприемников на электроподвижном составе к этим особенностям добавляется взаимное влияние токоприемников друг на друга.

Для обеспечения надежного и экономичного токосъема при прохождении электроподвижного состава с несколькими рабочими токоприемниками сопряжений анкерных участков контактные подвески должны иметь рациональные характеристики.

Известные методы расчета механического взаимодействия токосъемных устройств в переходных пролетах сопряжений анкерных участков [1, 2] не учитывают наличие нескольких токоприемников. Поэтому предлагается новый метод расчета взаимодействия двух токоприемников с двумя контактными подвесками в переходных пролетах, основанный на дискретизации показателей подвесок в точках контакта токоприемников с учетом волновых процессов [3].

Рассмотрим процесс взаимодействия двух токоприемников с контактными подвесками на сопряжениях анкерных участков. В общем случае, когда оба токоприемника отжимают провода обеих подвесок, каждый из них условно взаимодействует сразу с четырьмя дискретными массами (рисунок 1). Если полз токоприемника не касается контактного провода (проводов) одной из подвесок, ее реакция, вызванная нажатием соответствующего токоприемника, приравнивается к нулю. Траектории верхнего и нижнего узлов каждого из токоприемников определяются решением системы из четырех нелинейных дифференциальных уравнений с четырьмя неизвестными

$$\begin{cases} H''_{p1} = f_{p1}(H_{p1}, H'_{p1}, H_{n1}, H'_{n1}); \\ H''_{n1} = f_{n1}(H_{p1}, H'_{p1}, H_{n1}, H'_{n1}, H_{n2}, H'_{n2}); \\ H''_{p2} = f_{p2}(H_{p2}, H'_{p2}, H_{n2}, H'_{n2}); \\ H''_{n2} = f_{n2}(H_{p2}, H'_{p2}, H_{n1}, H'_{n1}, H_{n2}, H'_{n2}), \end{cases} \quad (1)$$

где $H_{pi}, H'_{pi}, H''_{pi}$ – высотные положения нижнего узла i -го токоприемника, его первая и вторая производная по расстоянию;

$H_{ni}, H'_{ni}, H''_{ni}$ – то же, верхнего узла i -го токоприемника;

$$f_{pi}(H_{pi}, H'_{pi}, H_{ni}, H'_{ni}) = (v^2 m_{pi})^{-1} \left[-vr_{pi} H'_{pi} - w_{pi} \text{sign} H'_{pi} + vr_{ki} (H'_{ni} - H'_{pi}) + \right. \\ \left. + w_{ki} \text{sign}(H'_{ni} - H'_{pi}) - \mathcal{J}_{ki} (h_{koi} - H_{ni} + H_{pi}) + P_{epi} + P_{pi} \right]; \\ f_{ni}(H_{pi}, H'_{pi}, H_{ni}, H'_{ni}, H_{n1}, H'_{n1}) = v^2 \left\{ -\prod_{k=1}^2 \sum_{j=1}^2 [\psi_j(H_{nk}) m_{ckk(j)}] + \prod_{k=1}^2 \sum_{j=1}^2 [\psi_j(H_{nk}) m_{ckk(j)} + m_{nk}] \right\}^{-1} \times \\ \times \sum_{q=1}^2 \text{sign}(1 - 2|i - q|) \times \left(\sum_{j=1}^2 [\psi_j(H_{ni}) m_{cqj(j)}] + (1 - |i - q|) m_{nq} \times \right. \\ \left. \times \left(-\sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \left\{ \psi_j(H_{nk}) [\mathcal{J}_{cqk(j)} (-H_{kack(j)} + H_{nk}) + vr_{cqk(j)} H'_{nk}] \right\} + \right. \right. \\ \left. \left. + \mathcal{J}_{kq} (h_{koi} - H_{nq} + H_{pq}) - vr_{kq} (H'_{nq} - H'_{pq}) - w_{kq} \text{sign}(H'_{nq} - H'_{pq}) + P_{epi} \right) \right); \\ \psi_j(H_{ni}) = \begin{cases} 1, & H_{ni} > H_{kaci(j)}; \\ 0, & H_{ni} < H_{kaci(j)}; \end{cases}$$

m_{ni}, m_{pi} – приведенные массы ползца и рам i -го токоприемника, кг;

$\mathcal{J}_{ki}$ – жесткость верхнего узла i -го токоприемника, Н/м;

r_{pi}, r_{ki} – коэффициенты вязкого трения в рамах и каретках i -го токоприемника, Н·с/м;

w_{pi}, w_{ki} – силы сухого трения в рамах и каретках i -го токоприемника, Н;

h_{koi} – ход кареток i -го токоприемника при полной разгрузке, м;

P_{pi}, P_{epi}, P_{epi} – силы статического нажатия, аэродинамические ползца и подвижной рамы i -го токоприемника, Н;

$m_{cij(k)}, \mathcal{J}_{cij(k)}, r_{cij(k)}$ – масса, жесткость и коэффициент вязкого трения k -ой подвески, обусловленные влиянием j -го токоприемника, приведенные к точке контакта с i -ым токоприемником;

v – скорость движения электроподвижного состава, м/с;

$H_{kaci(j)}$ – высотное положение j -ой контактной подвески в точке нахождения i -го токоприемника при отсутствии нажатия, м;

$$H_{kac2(j)} = H_{kac1(j)} - l_{mk};$$

l_{mk} – расстояние между токоприемниками, м.

Полученное решение должно удовлетворять условиям ограничения вертикальных перемещений элементов токоприемников. Массы и жесткости верхних узлов токоприемников представлены функциями от положения в пролете с учетом эффекта приведения. В точках подхвата (схода) вертикальная скорость верхнего узла токоприемника пересчитывается.

Контактное нажатие i -го токоприемника можно определить из выражения

$$P_{kmi} = -m_{li} v^2 H''_{li} - r_{ki} v (H'_{li} - H'_{pi}) - w_{ki} \text{sign}(H'_{li} - H'_{pi}) + \chi_{ki} (h_{koi} - H_{li} + H_{pi}) + P_{eni}. \quad (2)$$

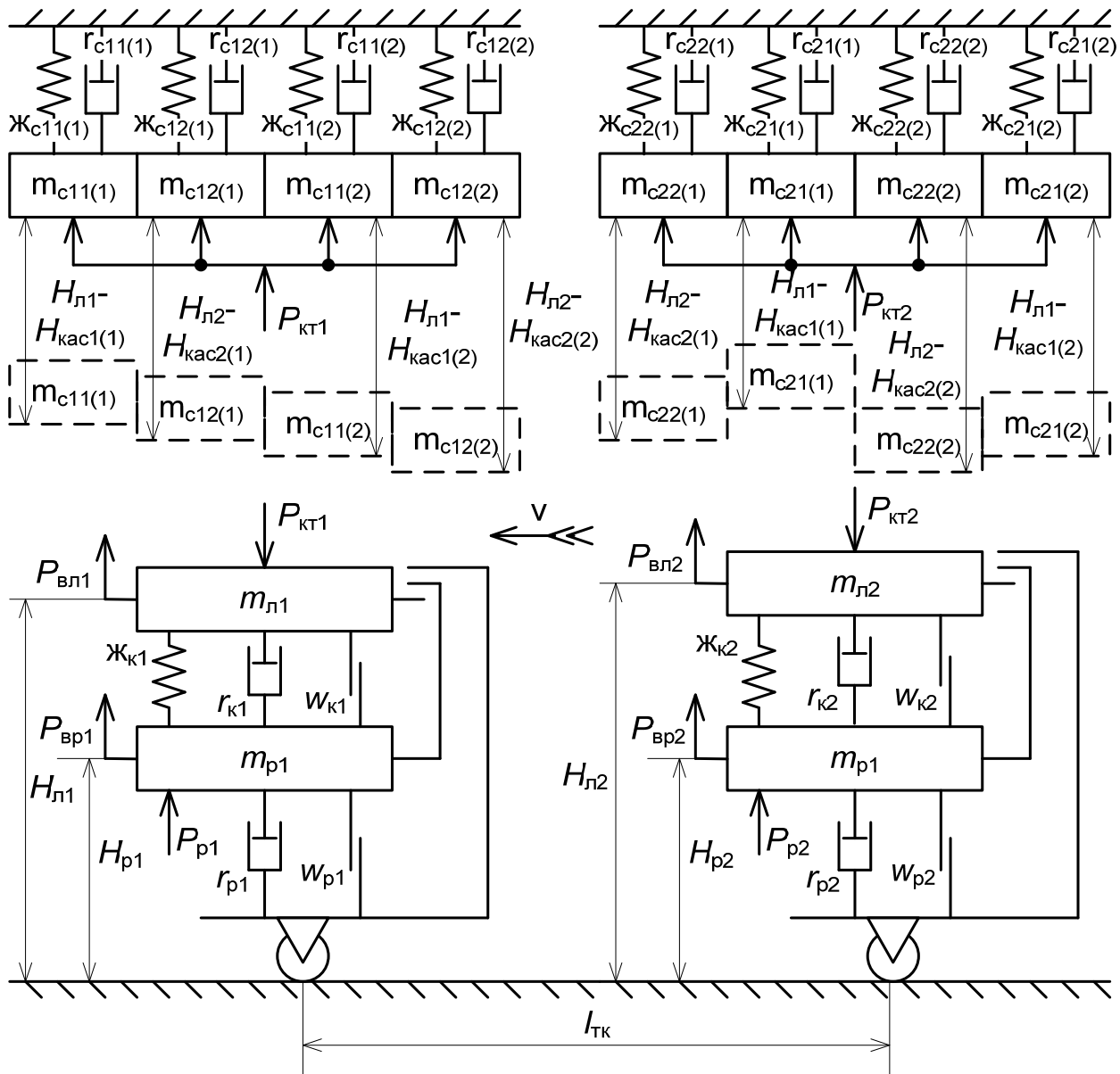


Рисунок 1 – Динамическая модель взаимодействия двух токоприемников с контактными подвесками в переходном пролете

Результаты расчетов показывают (рисунок 2), что уже при скорости 120 км/ч контактное нажатие в переходном пролете изменяется в большем диапазоне по сравнению с промежуточным. Из этого следует необходимость улучшения характеристик контактной подвески на сопряжениях анкерных участков.

Результаты экспериментальных исследований (рисунок 3), полученные ВНИИЖТом и

ОмГУПСом на Октябрьской железной дороге, подтверждают адекватность предложенной модели условиям взаимодействия токосъемных устройств (расхождение теоретических и экспериментальных данных составило не более 15%).

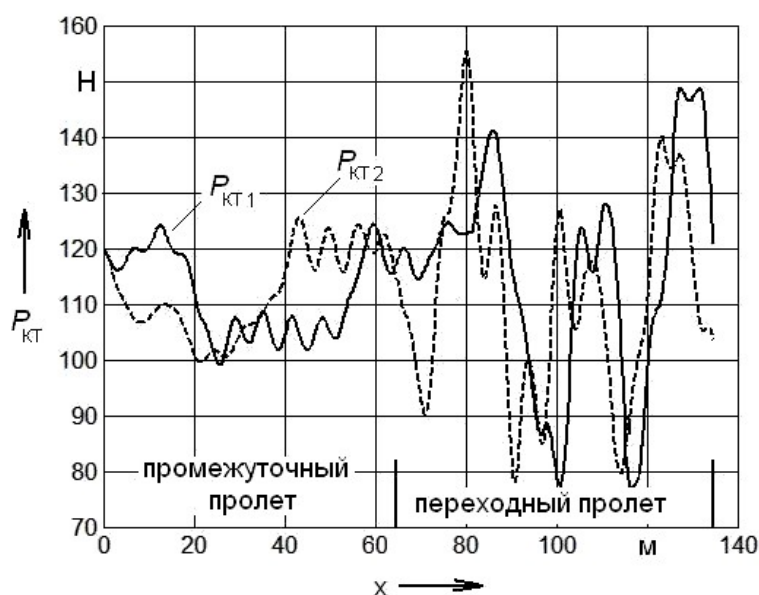


Рисунок 2 – Функции контактного нажатия при взаимодействии подвески КС-200 с двумя токоприемниками ($l_{тк} = 16,2$ м)

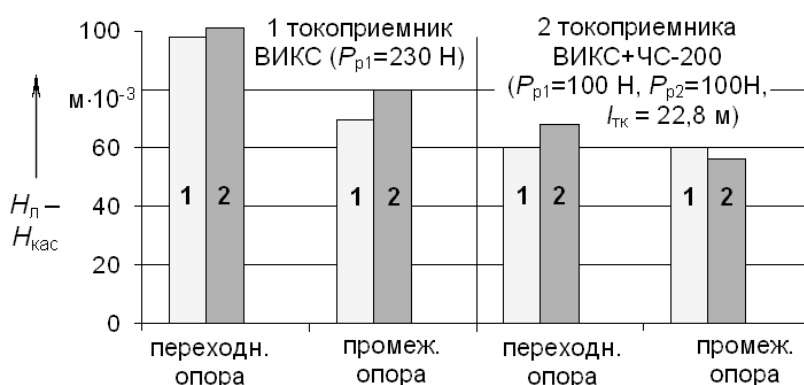


Рисунок 3 – Отклонение вверх контактных проводов контактной подвески КС-200 под переходной и промежуточной опорами при прохождении одного и двух токоприемников: 1-показания датчика экстремальных отжатий; 2-рассчитанные значения отжатия контактных проводов

Изменение характеристик контактной подвески может быть достигнуто различными способами. Предлагаемый вариант компенсирующего устройства совмещает эффект от монтажа проводов «вразбежку» с эффектом действия пружинных элементов [4]. Устройство содержит компенсирующий упругий элемент, присоединенный с помощью струн к контактным проводам, расположенным на разной высоте друг относительно друга. Как показали исследования, проведенные на полигоне ст. Омск, наличие компенсирующего устройства приводит к снижению жесткости в месте установки на 251% по сравнению с типовым вариантом.

Выводы:

1 При взаимодействии двух токоприемников с контактными подвесками на сопряжениях анкерных участков резко изменяются массы и жесткости подвески, приведенные к точкам контакта с токоприемниками, в результате чего не обеспечивается надежный и экономичный токосъем.

2 Предложенный метод расчета механического взаимодействия токосъемных устройств позволяет определить траектории токоприемников и функции контактного нажатия в переходных пролетах сопряжений анкерных участков с учетом наличия двух токоприемников.

3 Для улучшения качества токосъема в переходных пролетах сопряжений анкерных участков рекомендуется использовать предлагаемое устройство выравнивания жесткости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Михеев, В.П. Контактные сети и линии электропередачи / В.П. Михеев. -М.: Маршрут, 2003. -416 с.

2 Маслов, Г.П. Улучшение характеристик контактных подвесок магистральных электрических железных дорог / Г.П. Маслов, К.Р. Халиков, Э.Р. Абдулин // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: материалы Всерос. науч-техн. конф. с междунар. участием. -Красноярск, 2005. -Т.1. -С. 151-156.

3 Себелев, В.И. Расчет взаимодействия нескольких токоприемников с контактными подвесками при повышенных скоростях движения / В.И. Себелев, К.Р. Халиков // Вузы Сибири и Дальнего Востока Транссибу: материалы регион. науч.-практ. конф., 27-29 нояб. 2002 г. / Сиб. гос. ун-т путей сообщения. -Новосибирск, 2002. -С. 536-538.

4 Пат. RU 55696 U1 Россия, МПК В 60 М 1/22. Устройство подвески контактного провода в переходном пролете контактной сети / Г.П. Маслов, К.Р. Халиков (Россия). - №2005119569/22; заявл. 23.06.05; опубл. 27.08.06, Бюл. № 24.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: токоприемник, электрические железные дороги

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Халиков Карим Равильевич, инженер ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К.Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СУДОВ И БЕРЕГОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ МЕТОДОМ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ

ГОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»

А.Б. Власов, С.А. Був

EVALUATION OF TECHNICAL CONDITION OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF SHIPS AND COASTAL INFRASTRUCTURE BY THE METHOD OF THE THERMOVISION DIAGNOSTICS
«Murmansk state technical university»

A.B. Vlasov, S.A. Buev

The method of thermo vision diagnostics of electrical equipment of ships and coastal infrastructure is considered. Is substantiated the effectiveness of the method, expressed in the speed tests and the reliability of determining the technical condition.

Keywords: thermo vision diagnostics, electrical equipment of ships, control of technical condition, deficiency, reliability, deterioration, accident rate

Рассмотрен метод тепловизионной диагностики электрооборудования судов и инфраструктуры береговых объектов обеспечения. Обоснована эффективность метода, выраженная в скорости испытаний и надежности определения технического состояния.

Современные судовые электроэнергетические системы относятся к структурно-сложным системам, характеризующимся высокой степенью сложности не только из-за количества включаемых элементов, но, главным образом, вследствие сложности функциональных и логических связей между элементами и частями системы, возможностью восстанавливаемых и невосстанавливаемых отказов у одних и тех же элементов в зависимости от характера отказа, последствием, выражаемым в необходимости отключения ряда исправных элементов при ремонте отказавших и др. При решении вопросов надежности и безопасности в качестве элементов системы выступают такие сложные технические устройства, как турбо- и дизель генераторы, различные преобразователи, системы автоматического регулирования напряжения и частоты вращения, автоматические синхронизаторы и переключатели питания, различные аппараты коммутации, защиты, регулирования [1].

Особое значение имеет развитие, с одной стороны, методов технической диагностики для выявления, локализации и предупреждения элементов оборудования, определяющего вероятные отказы и повреждения, с другой – разработка эффективных методов статистической обработки полученных данных для определения на их основе показателей надежности.

Судовая инфраструктура, предназначенная для выполнения разнообразных функций (электробезопасность, пожаробезопасность, производственные задачи), подчиненная правилам морского Регистра, требует разработки оперативных методов неразрушающего контроля.

Не менее важное значение методы тепловизионного контроля имеют и для оценки тех-

нического состояния энергетических объектов береговой инфраструктуры флота, включающей в себя распределительные и трансформаторные подстанции, кабельные трассы и др., обеспечивающих энергоэффективную деятельность судов (у причалов), судоремонтных предприятий и других объектов.

В ряде особых регионов, например, ЗАТО, энергетическая береговая инфраструктура флота непосредственно связана с электрическими сетями жилых массивов, обеспечивающих деятельность флота.

Возможности тепловизионного метода, как средства контроля работоспособности энергетического оборудования представлены в работах [2, 3].

Задачей тепловизионной диагностики на судах является инженерный аудит различного оборудования и выявление дефектов элементов судового энергетического оборудования с учетом уровня нагрузки, условий и сроков эксплуатации, районов плавания, перспектив ремонта и замены элементов оборудования на основе оперативного неразрушающего контроля непосредственно при рабочих режимах эксплуатации.

С этой позиции тепловизионная диагностика представляет собой высокоэффективное диагностическое средство для снижения техногенных и технологических рисков на судах как средствах повышенной опасности.

Во-первых, на судне, в отличие от береговых объектов, электро- и теплоэнергетическое оборудование локализуется на малых площадях; техническое пространство ограничено, электрическое оборудование тесно скомпоновано, доступ к объектам диагностирования ограничен. Во-вторых, как правило, не существует двух судов с идентичным электрооборудованием, несмотря на их однотипность. Поэтому специалист, осуществляющий тепловизионную диагностику судового электрооборудования на судне, должен идентифицировать оборудование и его местоположение.

Основная часть оборудования выработала свой ресурс, но не меняется из-за недостатков финансирования. Учитывая существенный износ оборудования большинства отечественных судов, кратковременность их пребывания в портах, на первый план выходит вопрос о временных затратах для поиска неисправности. Поэтому для целей технической диагностики оборудования необходимо разрабатывать новые методы, которые обеспечивают оперативную дистанционную диагностику оборудования под нагрузкой.

Существующие руководящие документы и методики тепловизионной диагностики ориентированные, главным образом, на объекты высоковольтного электрооборудования [4], не учитывают проблемы, связанные со спецификой судового электрооборудования.

На примере тепловизионной диагностики электрооборудования судов и береговой инфраструктуры нами показана эффективность подобной технической диагностики.

Обследованию подвергалось оборудование судов различного класса и назначения, в том числе барка «Седов», «Десна», «Афанасьев».

Обследованы объекты судовой электро- и теплоэнергетики: кабельные трассы, оборудование главного распределительного щита (ГРЩ), технологическое, теплоэнергетическое и другое оборудование.

Для примера на рисунке 1 представлены фотография и термограмма трансформаторов тока, установленных на ГРЩ судна «Десна».

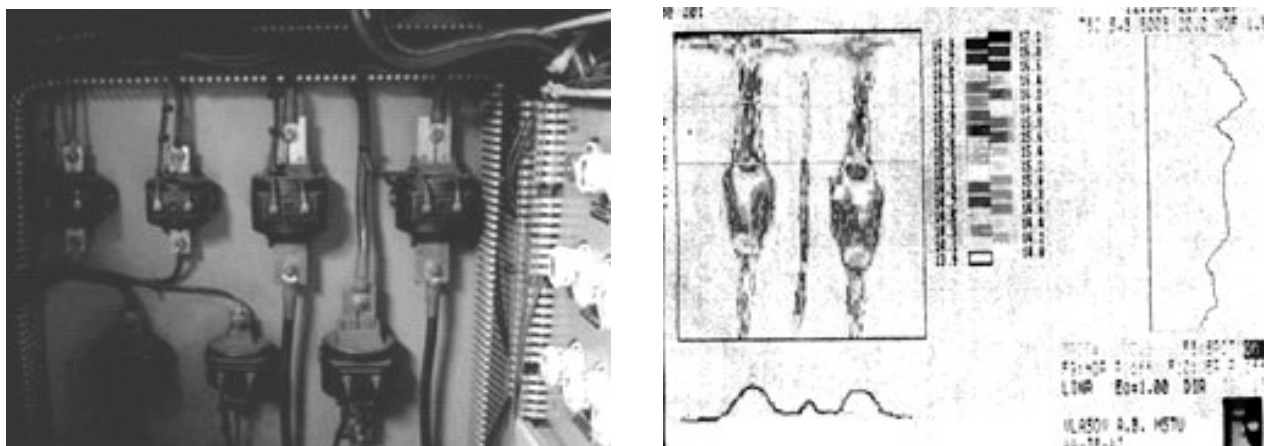


Рисунок 1 – Фотография и термограмма (негатив) трансформаторов тока главного распределительного щита

В ряде случаев температура поверхности элементов электрического оборудования достигала 60-70 °С при нагрузке, составляющей 25-30% от номинальной, что свидетельствует о повышенной электро- и пожароопасности.

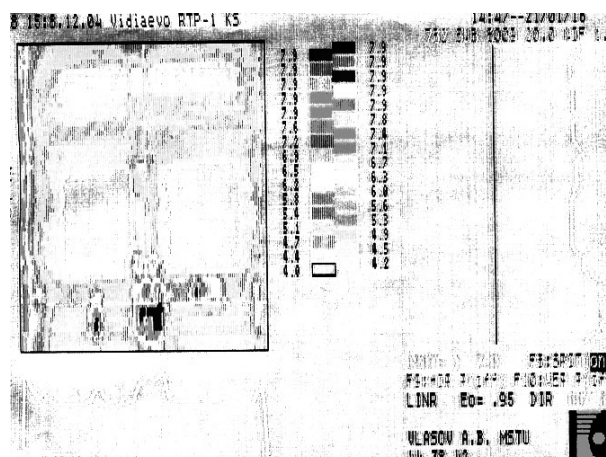


Рисунок 2 – Фотография и термограмма (негатив) дефекта контактного соединения в ячейке РТП-1

Например, фотография и термограмма дефекта контактного соединения в ячейке РТП-1 представлена на рисунке 2. Превышение температуры контакта фазы В составляет 4 °С при нагрузке 25%. Следовательно, при 100% нагрузке превышение температуры будет равно $4(100/25)^2 = 64$ °С. Данный дефект может быть отнесен к аварийным, которые следует устранять при внеплановом ремонте.

Для электрических объектов береговой инфраструктуры флота характерным является износ оборудования в течение значительных сроков эксплуатации. Гистограмма распределения оборудования по годам эксплуатации приведена на рисунке 3 (1-силовые трансформаторы; 2-подстанции РП 35/6; 3-подстанции РП 6/0,4; 4-ячейка КРУ – 6 кВ; 5-камеры КРУ 6 кВ). Фактически, большинство силовых трансформаторов, распределительных подстанций 35/6 кВ, 6/0,4 кВ, ячеек и камер и другое оборудование работают более 20-30 лет. В среднем более 67% оборудования имеет срок эксплуатации более 20 лет, 32% – более 30 лет.

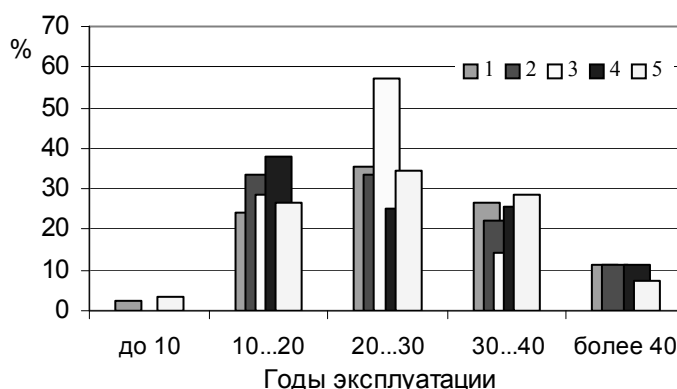


Рисунок 3 – Распределения оборудования по годам эксплуатации

Анализ показывает, что в отличие от объектов класса напряжения 35-330 кВ электрическое оборудование судов и подстанций напряжением 0,4 кВ имеет повышенный перегрев и дефектность.

Регулярная тепловизионная диагностика энергетического объекта позволяет оценить эксплуатационные параметры надежности оборудования. По разработанной методике [2, 3] произведен расчет функции распределения наработки до отказа $F(t)$ по данным, полученным при периодической тепловизионной диагностике контактных соединений одного из энергетических объектов береговой инфраструктуры (рисунок 4).

Представленные данные подтверждают выводы о значительном старении силового электрического оборудования судов и береговой инфраструктуры, что проявляется в повышенной дефектности, перегреве элементов оборудования выше нормативных значений.

Тепловизионная диагностика позволяет надежно и оперативно выявлять дефекты судового оборудования при проведении планово-предупредительных работ на судах. Актуальным является тепловизионная диагностика на плавучих буровых платформах – объектах повышенной электро- и пожароопасности.

Внедрение методов тепловизионной диагностики на судах, буровых платформах, объектах береговой инфраструктуры обеспечивает уменьшение эксплуатационных затрат, капиталовложений и убытков.

Это достигается:

- предотвращением и уменьшением аварийных ситуаций путем выявления дефектов;

- уменьшением объемов послеаварийных ремонтов и работ по устранению отказов;

- минимизацией перечня судового оборудования, подлежащего демонтажу, с учетом его реального технического состояния, снижением трудозатрат, расхода материалов;

- сокращением случаев преждевременного вывода оборудования в ремонт и снижению простоя оборудования на судах рыбопромыслового флота, во избежание нарушения производственного цикла.

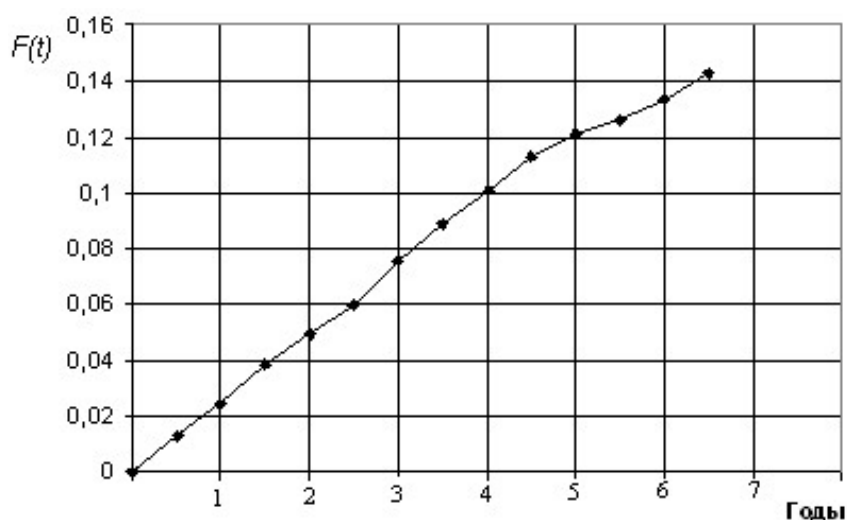


Рисунок 4 – Функции распределения наработки до отказа

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Рябинин, И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И.А. Рябинин. -СПб.: Политехника, 2000. -248 с.

2 Власов, А.Б. Тепловизионная диагностика объектов электро- и теплоэнергетики (диагностические модели) / А.Б. Власов. -Мурманск: Изд-во Мурман. гос. техн. ун-та, 2005. -265 с.

3 Власов, А.Б. Модели и методы термографической диагностики объектов энергетики / А.Б. Власов. -М.: Колос, 2006. -280 с.

4 РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования / под общ. ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца. -6-е изд. с изм. и доп. -М.: ЭНАС, 2002. -256 с.

5 Никитин, А.М. Управление технической эксплуатацией судов / А.М. Никитин. -СПб.: Изд-во С.-Петерб. политехн. ун-та, 2006. -360 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тепловизионная диагностика, электрооборудование судов, контроль технического состояния, дефект, надежность, износ, аварийность

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Власов Анатолий Борисович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»
Був Сергей Александрович, аспирант ГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13, ГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»

КОНДУКТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОМЕХИ В ЗАМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 35 кВ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.В. Горелов, Е.Ю. Кислицин, В.А. Коновалов,
О.Е. Малаенко, В.Г. Сальников, Л.Н. Татьянченко

CONTACT ELECTROMAGNETIC HINDRANCES IN THE CLOSED ELECTRIC NETWORKS PRESSURE TO 35 kV

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.V. Gorelov, E.Yu. Kislicin, V.A. Konovalov, O.E. Malaenko, V.G. Sal'nikov, L.N. Tat'janchenko

Results theoretical and experimental researches on suppression of electromagnetic hindrances transferred by a contact mode in the closed networks by voltage to 35 kV are analyzed.

Keywords: electric networks, voltage, suppression, reliability

Анализируются результаты теоретических и экспериментальных исследований по подавлению кондуктивных электромагнитных помех в замкнутых сетях напряжением до 35 кВ.

Нарастающие темпы добычи, транспортировки и первичной переработки природных ресурсов (нефть, газ, полиметаллы, алмазы и т.д.) в районах Сибири и Дальнего Востока России обуславливают интенсивную их электрификацию. Замкнутые электрические сети (далее сети) от 6 до 35 кВ этих объектов в наибольшей мере, по сравнению с питающими от удалённых электроэнергетических систем (ЭЭС) сетями 110 кВ и выше, связаны с особенностями технологических процессов и характером воздействия окружающей среды. В этих сетях должны обеспечиваться уровни электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств для кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП) в соответствии с требованиями ГОСТ 13109-97. Это необходимо: для обеспечения мероприятий по защите жизни и здоровья граждан, имущества физических и юридических лиц, государственного имущества, по охране окружающей среды; для повышения технико-экономических показателей производств и качества выпускаемой ими продукции [1].

Конструктивным научным направлением решения проблем ЭМС технических средств в региональных ЭЭС является подавление кондуктивных ЭМП, распространяющихся по сетям. Однако, проблема ЭМС, обусловленная взаимодействием электромагнитных процессов производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии различными приёмниками, достаточно многогранна и постоянно развивается, поэтому решены не все научные задачи, связанные с особенностями электрических сетей и режимами работы искажающих нагрузок. В частности, нет рекомендаций по определению рациональных мест размыкания замкнутых сетей от 6 до 35 кВ при кондуктивных ЭМП и подавлению помех. Решение подобных задач обеспечивает получение новых знаний в области ЭМС технических средств и повышение эффективности электроснабжения удалённых от региональных ЭЭС объектов [2].

В работе проведён анализ проблемы ЭМС технических средств в замкнутых сетях от 6 до 35 кВ удалённых от ЭЭС объектов.

Системный подход к анализу качества электроснабжения удалённых объектов позволяет выделить общие особенности их замкнутых сетей от 6 до 35 кВ. Это обосновывает выбор объекта исследования и использование при исследовании разработанные математические модели электрических сетей и режимов их работы, рекомендованные методы и средства измерений показателей КЭ, методы расчётов кондуктивных ЭМП и другие научные положения.

Определён механизм связи между источниками ЭМП в замкнутой сети и рецепторами. Показано, что гальваническая связь (через провода линий электропередачи) является основным путём распространения кондуктивных ЭМП, обусловленных нестандартными значениями показателей КЭ. Эти помехи оказывают наиболее негативное влияние на генераторы, трансформаторы, электрические двигатели и другие технические средства как рецепторы.

При разработке технических мероприятий по повышению качества функционирования замкнутых сетей необходимо принимать решения при вероятностно-неопределённом уровне информационного обеспечения. Преодоление неопределённости возможно за счёт информации, полученной при экспериментальных исследованиях. В связи с этим экспериментальные исследования в действующей замкнутой сети 10 кВ объекта исследования являются одной из основных задач диссертации (рисунок).

Питание исследуемой сети осуществляется от внешней ЭЭС на напряжении 110 кВ и от электростанций собственных нужд (ЭСН) типов ПАЭС-2500 М и ПАЭС-2500. Мощность каждого генератора составляет 2,5 МВт. Для измерения показателей КЭ применялся специализированный прибор типа ППКЭ-1-50, представляющий микроЭВМ и имеющий сертификат Госстандарта России.

Проведены исследования кондуктивной ЭМП по установившемуся отклонению напряжения δU_n в замкнутой сети напряжением 10 кВ (рисунок) [1, 2].

Разработан алгоритм определения этой помехи. Установлено, что установившееся отклонение напряжения δU_y и величина δU_n за расчётный период следуют нормальному закону распределения теории вероятностей с параметрами: $M[\delta U_n]$ - матожидание, %; $\sigma[\delta U_n]$ - среднеквадратическое отклонение, %. В таблице приведены их расчётные значения, математические модели плотности вероятности распределения и появления помехи δU_n . Вычисления определённых интегралов производится с помощью функции Лапласа.

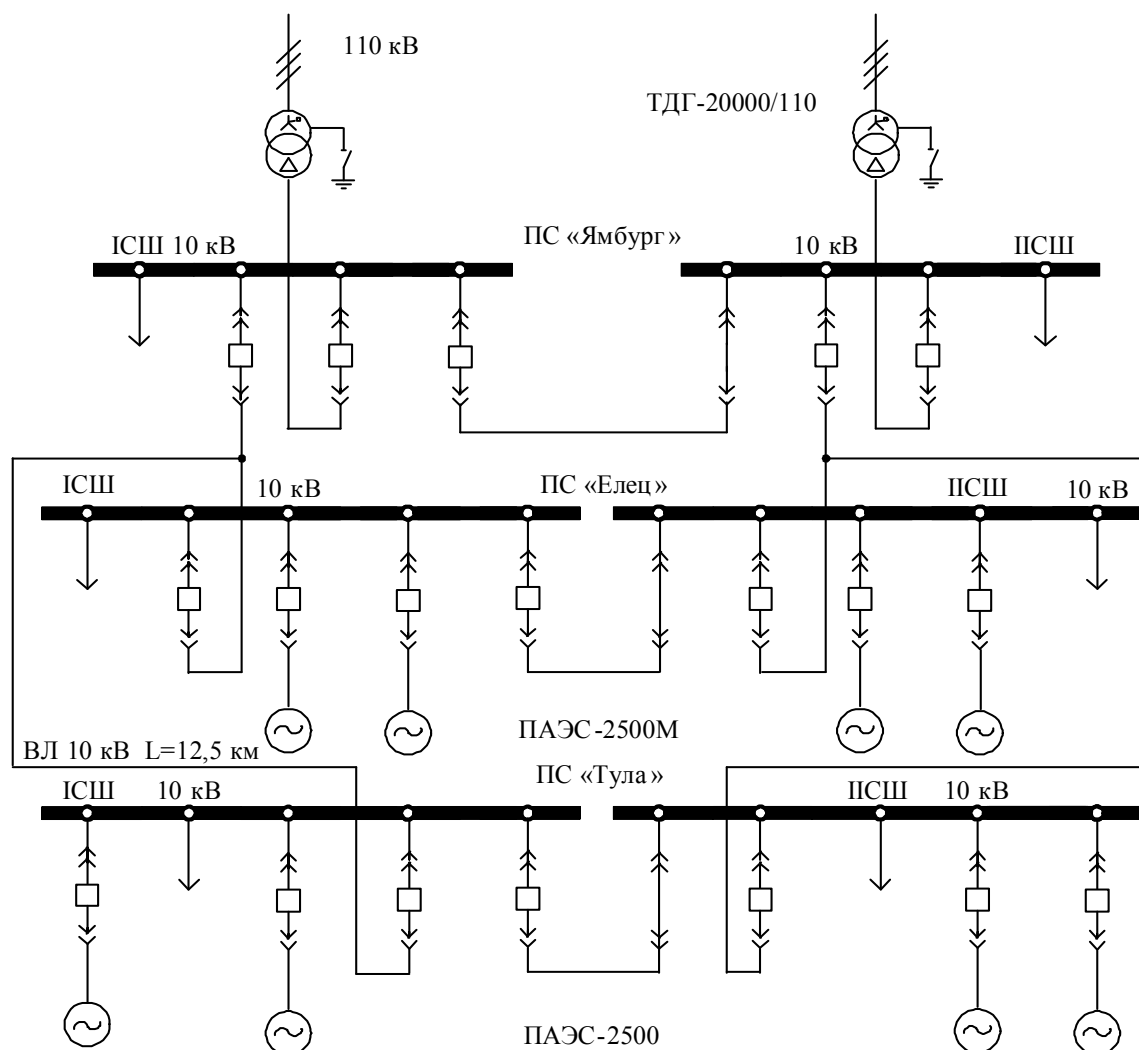


Рисунок – Принципиальная электрическая схема замкнутой сети 10 кВ объекта исследования

Таблица – Параметры кондуктивных электромагнитных помех δU_n

Наименование подстанции, режим питания	Параметры распределения, $M[\delta U_n]/\sigma[\delta U_n], \%$	Плотность вероятности распределения $\varphi(\delta U_n, M[\delta U_n], \sigma[\delta U_n]), \%^{-1}$	Вероятность появления кондуктивной ЭМП $P(\delta U_n), \text{о.е.}$
Ямбург, ИСШ 10кВ. Сеть разомкнута	-1,53/3,40	$0,12 \exp \left[-\frac{(\delta U_y + 1,53)^2}{23} \right]$	$0,12 \int_{-\infty}^{-5} e^{-\frac{(\delta U_y + 1,53)^2}{23}} d(\delta U_y) - 0,05 = 0,1$
Елец, ИСШ 10кВ. Сеть разомкнута	-4,00/0,80	$0,5 \exp \left[-\frac{(\delta U_y + 4)^2}{1,28} \right]$	$0,5 \int_{-10}^{-5} e^{-\frac{(\delta U_y + 4)^2}{1,28}} d(\delta U_y) - 0,05 = 0,06$
Тула, ИСШ 10кВ. Сеть разомкнута	3,56/1,16	$0,34 \exp \left[-\frac{(\delta U_y - 3,56)^2}{2,69} \right]$	$0,34 \int_5^{\infty} e^{-\frac{(\delta U_y - 3,56)^2}{2,69}} d(\delta U_y) - 0,05 = 0,07$
Ямбург, ИСШ 10кВ. Сеть замкнута	2,48/3,20	$0,13 \exp \left[-\frac{(\delta U_y - 2,48)^2}{20,5} \right]$	$0,13 \int_5^{10} e^{-\frac{(\delta U_y - 2,48)^2}{20,5}} d(\delta U_y) - 0,05 = 0,05$

Таким образом, кондуктивная ЭМП δU_n обнаружена и определена на подстанциях при всех режимах сети, является локальным параметром ЭМО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Выбор базового объекта исследования электромагнитной совместимости в замкнутых сетях от 6 до 35 кВ северных месторождений газа / С.Б. Долгушин, И.Н. Дмитриев,

Е.Ю. Кислицин, Е.В. Иванова, А.А. Левченко, С.В. Любаков, В.Г. Сальников // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№2. -С. 250-254.

2 Энергоснабжение стационарных и мобильных объектов: учеб. пособие. В 3 ч. Ч.3 / В.П. Горелов [и др.]; под. ред. В.П. Горелова, Н.В. Цугленка. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006. -228 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электрические сети, напряжение, подавление, надёжность

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Горелов Василий Валерьевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Кислицин Евгений Юрьевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Коновалов Владимир Александрович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Малаенко Олег Анатольевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Татьянченко Любовь Николаевна, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

**ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного
транспорта»**

Ю.В. Дёмин, А.И. Мозилов, Г.В. Иванов

INCREASE OF THE OVERALL PERFORMANCE OF EARTHING DEVICES OF TRACTION SUBSTATIONS OF THE MAIN ELECTRIC RAILWAYS

«Novosibirsk state academy of water transport»

Yu.V. Demin, A.I. Mozilov, G.V. Ivanov

For increase of an overall performance of the earthing device of electro installation in the conditions of introduction in systems of an electrical supply of the modern digital equipment it is offered to use the screen from electro wire concrete. It will allow to lower speed of corrosion steel artificial earthing device and to improve electromagnetic conditions on electro installation.

Keywords: the earthing device

Для повышения эффективности работы заземляющего устройства электроустановки в условиях внедрения в системы электроснабжения современного цифрового оборудования предложено использовать экран из электропроводного бетона. Это позволит снизить скорость коррозии стальных искусственных заземлителей и улучшить электромагнитную обстановку на электроустановке.

В транспортной системе России ведущим и организующим видом является железнодорожный транспорт. В обозримом будущем железнодорожным перевозкам не будет альтернативы по экономической эффективности и экологической безопасности при транспортировке значительных по объемам стабильных потоков массовых грузов, доставляемых на средние и дальние расстояния, а также по обеспечению пассажирских перевозок.

Во исполнение указаний Министерства путей сообщения России №187у от 26 ноября 2002 г. и №88у от 16 июня 2003 г. Всероссийским научно-исследовательским институтом железнодорожного транспорта (головная организация) при участии институтов Гипротранс-ТЭИ, ВНИИАС и отраслевых вузов – РГУПС, ОмГУПС, ПГУПС, МГУПС, ДВГУПС была разработана «Энергетическая стратегия железнодорожного транспорта на период до 2010 года и на перспективу до 2020 года», одной из основных задач которой является переход на энергосберегающий путь развития железнодорожного транспорта. Кроме того, приняты «Стратегические направления научно-технического развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 г., одно из направлений которых – обеспечение электромагнитной совместимости технических средств.

Практически все средства железнодорожной автоматики и телемеханики, введенные до 1990 г, по своему качественному уровню не удовлетворяют современным требованиям комплексной автоматизации перевозочного процесса.

Внедряемые в настоящее время в системы электроснабжения программно-технические комплексы (ПТК), такие как автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), в том числе автоматизированные информационно-измерительные системы контроля и учета электрической энергии (АИИС КУЭ), средства защиты на основе микропроцессоров, могут надежно функционировать только в благоприятной электромагнитной обстановке (ЭМО), то есть должна быть обеспечена электромагнитная совместимость

(ЭМС).

Имеющийся опыт обследования электроустановок показывает, что очень часто ЭМО оказывается неблагоприятной.

В исследованиях московской фирмы ООО «ЭЗОП» отмечается [1], что на электрифицированных железных дорогах (Транссибирская магистраль) опасные влияния на цифровую технику выявлены более чем на 80% из обследованных электроустановок. Большинство проблем связано с неудовлетворительным состоянием молниезащиты (40% объектов), потенциалами на элементах заземляющего устройства (ЗУ) при коротких замыканиях в высоковольтной сети (30%), неудовлетворительным состоянием связей между элементами ЗУ (30% объектов). Следовательно, основные причины неблагоприятного воздействия на цифровую технику связаны непосредственно с состоянием ЗУ – его неэквипотенциальность, коррозионные разрушения элементов ЗУ, нелинейность внутреннего продольного сопротивления стальных искусственных заземлителей. Кроме того, значительное воздействие оказывают электромагнитные влияния – частота вводимого в ЗУ тока, магнитное влияние токовой линии (рисунок 1).

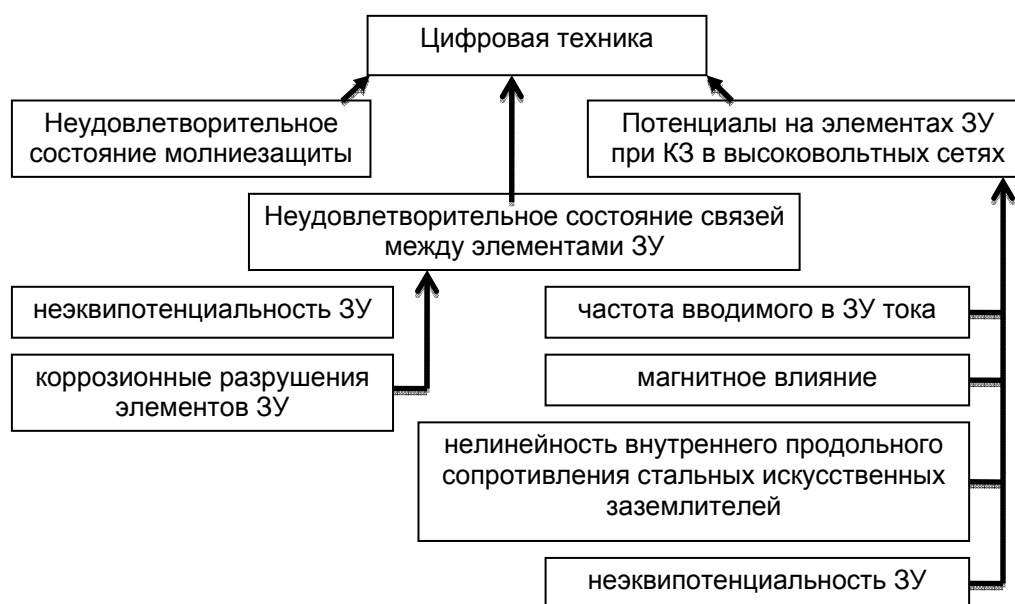


Рисунок 1 – Основные факторы, влияющие на работу цифровой техники

Анализ причин возмущений и рекомендуемых мер защиты показал, что для повышения надежности работы цифровой техники необходимо одноточечное заземление оборудования («спецзаземление») [2].

Главное требование к «спецзаземлению» заключается в выравнивании потенциала на шинах всех опорных узлов с присоединенной к ним цифровой аппаратурой (рисунок 2) [2, 3]. Это в свою очередь зависит от эквипотенциальности ЗУ. Так, при неэквипотенциальном ЗУ потенциалы шин заземления различных опорных узлов, соединенные с общим заземляющим устройством в разных точках, будут существенно отличаться – чем выше неэквипотенциальность, тем больше разность потенциалов между различными точками ЗУ. Таким образом, необходимо детально исследовать неэквипотенциальность ЗУ и ее влияние на ЭМО. Следует подчеркнуть, что максимальная «неэквипотенциальность» наблюдается при минимальном удельном сопротивлении грунта (10 Ом·м), но при этом отмечается и максимальная коррозия.

Наибольшую опасность представляет коррозия ЗУ, протекающая под действием блуждающих постоянных токов, основным источником которых является электрифицированный железнодорожный транспорт.

Кроме того, не всегда удастся обеспечить спецзаземление цифровых систем, так как, согласно исследованиям, всегда наблюдаются параллельные (неконтролируемые) цепи заземления [1, 2]. Следовательно, возникает необходимость в выравнивании потенциалов по элементам ЗУ эксплуатируемых электроустановок.

При внедрении цифровой техники в системы электроснабжения необходимо рассчитывать параметры электробезопасности: напряжение «до прикосновения» $U_{\text{дп}}$ и напряжение на

металле $U_{мет}$, поскольку в аварийных и нормальных режимах работы электроустановки значения именно этих параметров ЗУ могут быть приложены к корпусам различного цифрового оборудования.

На значения потенциалов на металле $U_{мет}$ и напряжения «до прикосновения» $U_{оп}$ влияет ряд факторов: частота вводимого в ЗУ тока, нелинейность внутреннего продольного сопротивления стальных искусственных заземлителей, неэквипотенциальность ЗУ, магнитное влияние токовой линии [4].

Расчет и экспериментальная проверка влияния частоты вводимого в ЗУ тока на напряжение «до прикосновения» проводился для внешнего короткого замыкания. Установлено, что использование частоты 180 Гц в измерительном приборе (ПИНП) по отношению к частоте 50 Гц приводит к повышению напряжения «до прикосновения» в области ввода тока неэквипотенциальных заземлителей на 22-47%. Для эквипотенциальных заземлителей измерение напряжения «до прикосновения» на частоте 180 Гц дает отклонение от результата на частоте 50 Гц всего 3% [4].

При использовании для измерения напряжения на металле частоты 180 Гц (прибор ПИНП) значение данного параметра для неэквипотенциальных заземлителей составляет от 0,5 до 10 В, что не превышает нормы по ГОСТ Р 51317.2.5-2000. Однако при пересчете на реальный ток КЗ, например 5 кА, значение электромагнитного возмущения (ЭМВ) превышает нормируемое в 36 раз [4].

Максимальное значение потенциалов на металле наблюдается в месте ввода тока, в месте удаленном от точки ввода тока отмечается понижение потенциала на металле (2,5% для эквипотенциальных ЗУ; 29,3% – для неэквипотенциальных). Максимальное значение напряжения «до прикосновения» наблюдается в месте удаленном от точки ввода тока (увеличение на 15-20% – для эквипотенциальных, уменьшение в 1,5 раза – для неэквипотенциальных) [4].

Нелинейность внутреннего продольного сопротивления максимальное влияние оказывает на неэквипотенциальные заземлители в области ввода тока. Так, для тока 200 А увеличение $U_{оп}$ наблюдается в 2,5 раза, а для $U_{мет}$ имеет место увеличение на 20-30% (по сравнению с током 1 А и 5 кА) [4].

При вводе тока в 1 А в модель эквипотенциального заземляющего устройства потенциал в месте ввода тока составляет 337 мВ, что превышает нормируемое значение (90 мВ) потенциала на ЗУ. В случае неэквипотенциального ЗУ потенциал в месте ввода тока составляет 41,2 мВ и не превышает нормы [4].

Эквипотенциальные заземляющие устройства электроустановок (удельное сопротивление грунта 100 Ом·м и более) имеют отличие потенциала в месте ввода тока и в месте удаленном от точки ввода тока не более чем 5-10%, что объясняется хорошей проводимостью металла и выравниванием потенциала по металлу (ухудшением электромагнитной обстановки при всех видах помех можно пренебречь). Следует учитывать ухудшение электромагнитной обстановки при воздействии напряжения «до прикосновения», так как во всех случа-

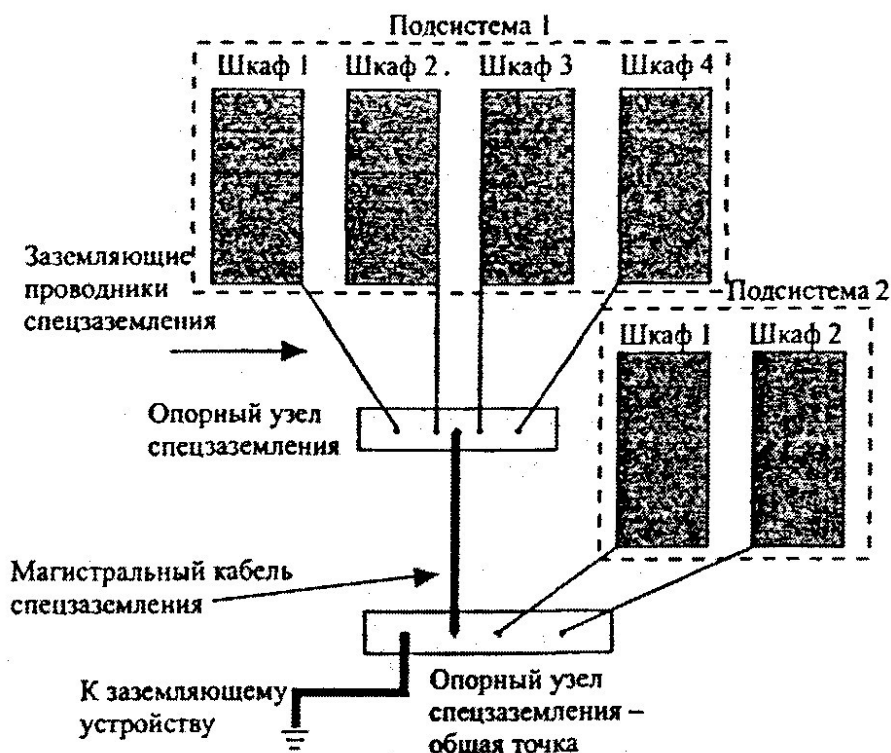
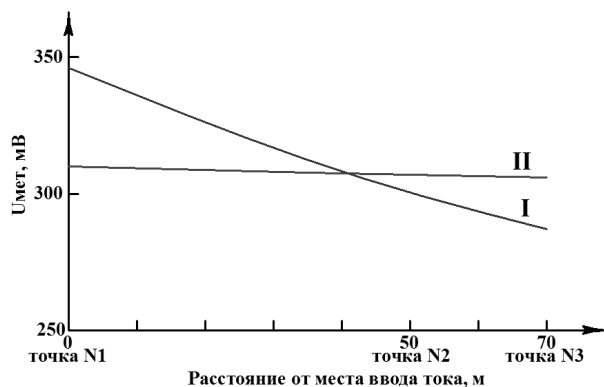


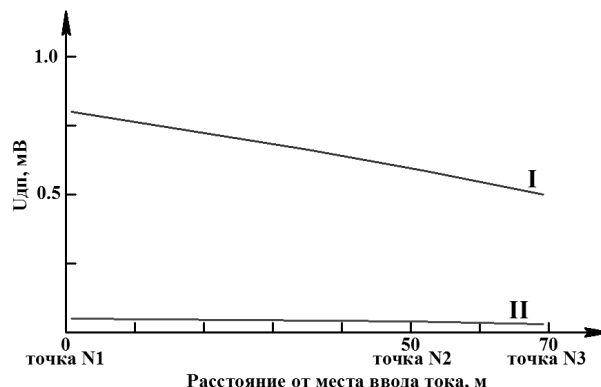
Рисунок 2 – Пример организации заземления цифровой техники

ях его увеличение наблюдается на 20-40% [4].

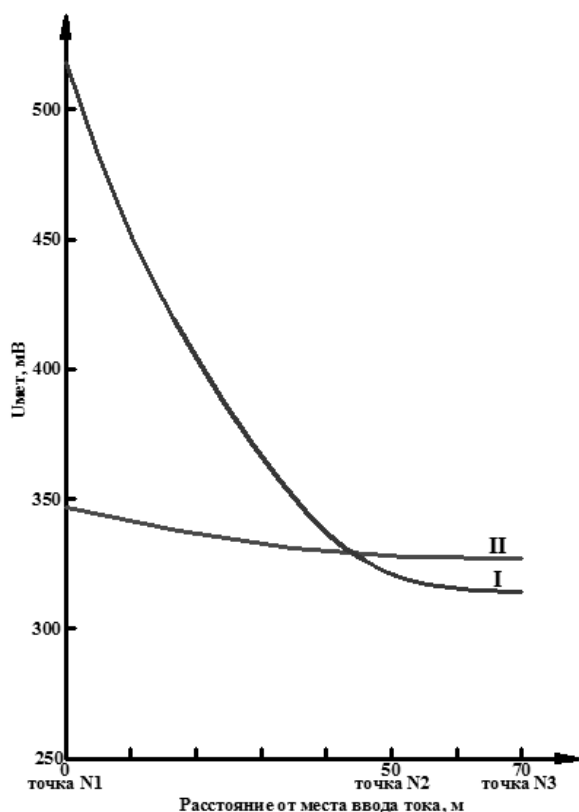
У неэквипотенциальных заземляющих устройств электроустановок отмечается ухудшение электромагнитной обстановки, так как наблюдается перепад потенциала по металлу на 15-30%. Следует учитывать существенное ухудшение электромагнитной обстановки при воздействии напряжения «до прикосновения», так как наблюдается его изменение в 1,5-2,5 раза [4].



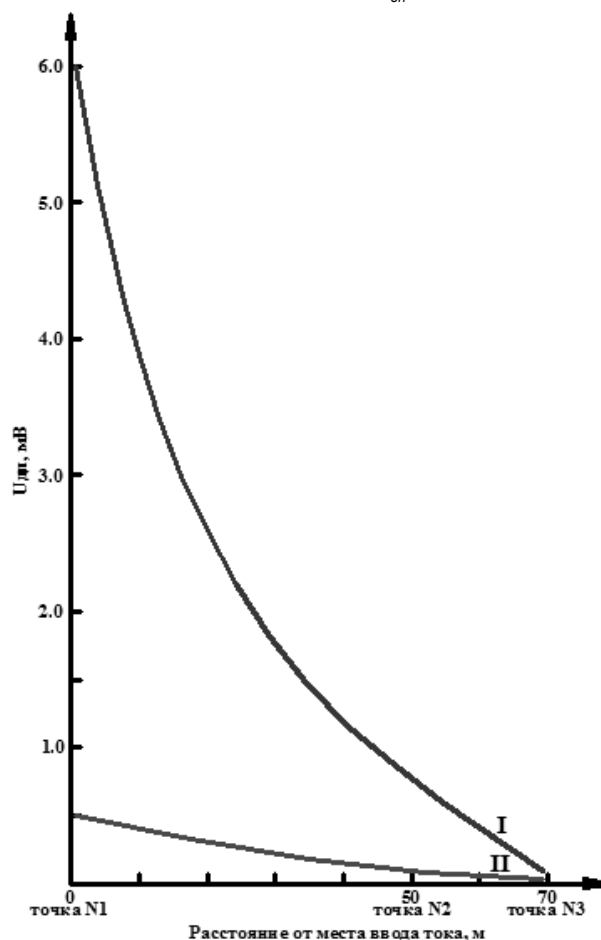
снижение магнитного влияния вводимого в ЗУ тока на $U_{мет}$



снижение магнитного влияния вводимого в ЗУ тока на $U_{оп}$



снижение влияния нелинейности внутреннего продольного сопротивления элементов ЗУ на $U_{мет}$



снижение влияния нелинейности внутреннего продольного сопротивления элементов ЗУ на $U_{оп}$

Рисунок 3 – Определение степени снижения воздействия возмущений на параметры электробезопасности заземляющего устройства: I-кривая изменения $U_{оп}$ до внедрения экрана из бетэла; II-кривая изменения $U_{оп}$ после внедрения экрана из бетэла

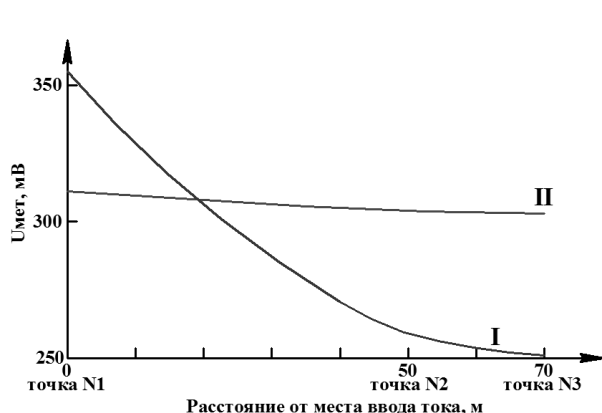
Таким образом, воздействие электромагнитных возмущений (частота тока, нелинейность внутреннего продольного сопротивления элементов ЗУ и др.) в ряде случаев превы-

шает нормируемые значения, поэтому их необходимо учитывать для обеспечения надежной работы цифровой техники.

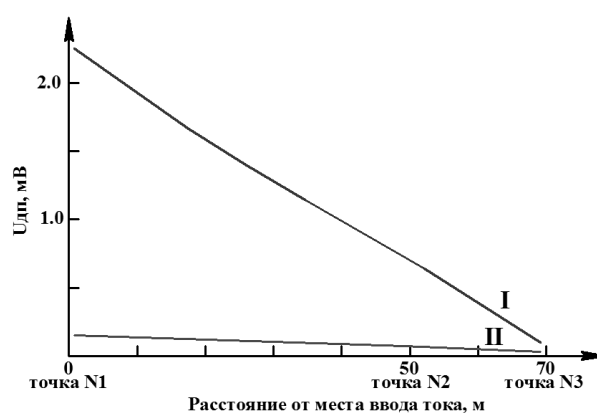
Следует отметить, что воздействие на параметры эквипотенциального ЗУ минимально и, как следствие, минимально влияние на цифровую технику, а воздействие возмущений на параметры неэквипотенциального ЗУ максимально. Следовательно, как и в случае коррозионных разрушений элементов ЗУ, для снижения влияния электромагнитных возмущений на параметры электробезопасности ЗУ необходимо принимать меры для выравнивания потенциала по элементам ЗУ.

Предлагаемые способы выравнивания потенциалов, например, с помощью укладки дополнительной сетки с мелкими ячейками из меди (стандарт МЭК 61024), требуют дополнительного исследования. Медь, как мощный катод вызовет дополнительную коррозию арматуры в бетоне, оболочек кабелей, стальных трубопроводов и др.

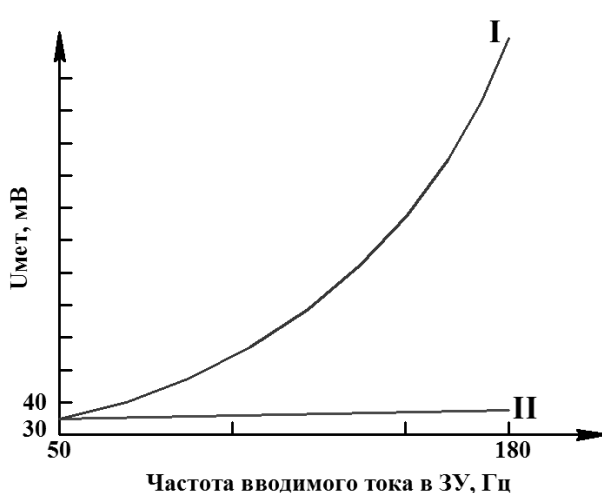
Стандарт МЭК по выравниванию потенциалов не только ухудшает коррозионную обстановку, но у сетки со сгущенной ячейкой увеличивается индуктивность, которая препятствует выравниванию потенциала. Такого недостатка лишена разработка РФ – электропроводный бетон (бетэл) [5].



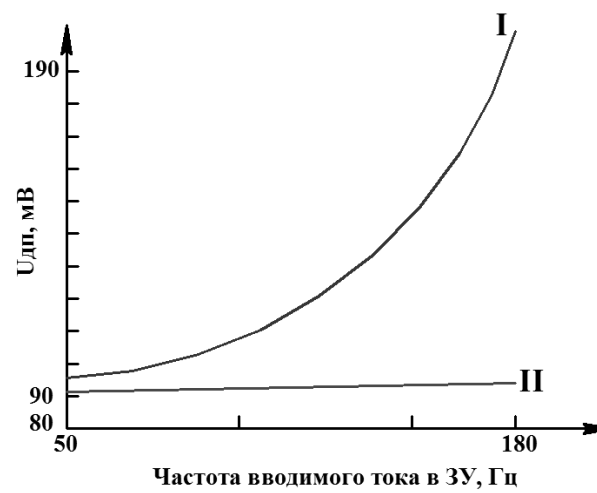
Снижение влияния частоты вводимого в ЗУ тока на $U_{мет}$



снижение влияния неэквипотенциальности ЗУ на $U_{дп}$



снижение влияния нелинейности внутреннего продольного сопротивления элементов ЗУ на $U_{мет}$



снижение влияния частоты вводимого в ЗУ тока на $U_{дп}$

Рисунок 4 – Определение степени снижения воздействия возмущений на параметры электробезопасности заземляющего устройства

Применение покрытия из бетэла для выравнивания потенциала изменит коррозионную обстановку, то есть в многоэлектродной заземляющей системе появится новый элемент. Результаты анализа, представленного в [5], показывают, что использование защитных экранов из электропроводного бетона позволит не только улучшить электромагнитную обстановку

ку, но и снизить скорость коррозии стальных искусственных заземлителей: скорость максимальной коррозии в два – три раза, средней – в пять раз.

Кроме того, использование бетэла для выравнивания потенциала на заземляющем устройстве в зоне помещений с цифровой техникой устраним влияние параллельных (неконтролируемых) цепей заземлений и тем самым существенно улучшит электромагнитную обстановку на электроустановке [5].

По методике, предложенной авторами в [1], определена степень снижения влияния возмущений со стороны ЗУ на параметры электробезопасности ЗУ.

Анализ рисунков 3 и 4 показывает, что установка экрана из бетэла переводит неэквипотенциальное ЗУ в режим работы эквипотенциального ЗУ. Тем самым снижаются влияния на работу цифровой техники.

Использование стандартов МЭК (укладка сетки из меди со сгущенными ячейками) снижает воздействие возмущений на параметры ЗУ, но в меньшей степени, так как остается сетка, а, следовательно, индуктивность, это не имитирует пластину.

Таким образом, использование экрана из бетэла позволяет снизить напряжение «до прикосновения» и потенциалы на металле до нормируемых и безопасных значений (таблица).

Таблица – Степень снижения воздействия возмущений на напряжение на металле и напряжение «до прикосновения» после внедрения экрана из бетэла, %

Факторы, влияющие на параметры ЗУ	$U_{мет}$	$U_{дп}$
1 Магнитное влияние вводимого в ЗУ тока	92,4	46,3
2 Нелинейность внутреннего продольного сопротивления элементов ЗУ	20,3	25,8
3 Частота вводимого в ЗУ тока	97,0	94,0
4 Неэквипотенциальность ЗУ	91,1	57,6

Однако, использование защитного экрана из бетэла не защищает стальные искусственные заземлители от действия блуждающих постоянных токов. Но в то же время экран служит дополнительным связующим звеном между вертикальными элементами ЗУ, следовательно, даже при разрушении под действием электрокоррозии вертикальных искусственных заземлителей, сохраняется целостность ЗУ, что необходимо для обеспечения нормальной работы электроустановки и благоприятной электромагнитной обстановки для цифровой техники.

Вывод: применение экрана из электропроводного бетона позволит выровнять потенциал по элементам ЗУ и тем самым улучшит ЭМО на электроустановке, а также снизит скорость коррозионных разрушений стальных искусственных заземлителей. Данный метод повышения эффективности работы ЗУ применим не только для новых проектируемых и строящихся подстанций, но и для эксплуатируемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Матвеев, М.В. Электромагнитная обстановка на объектах определяет ЭМС цифровой аппаратуры / М.В. Матвеев // Новости электротехники. -2002. -№1/2. -С. 13-14.
- 2 Спецзаземления программно-технических комплексов АСУ ТП современных энергоблоков / Е.С. Колечицкий [и др.] // Электр. станции. -2006. -№1. -С. 56-61.
- 3 Правила устройства электроустановок. -7-е изд. -М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 1999.
- 4 Разработка методики расчета и анализ влияния электромагнитных помех на параметры электробезопасности заземляющего устройства / Г.В. Иванов [и др.] // Изв. Том. политехн. ун-та. -2008. -Т.312, №4. -С. 66-70.
- 5 Иванов, Г.В. Разработка экрана из электропроводного бетона (бетэла) для защиты от коррозии искусственных заземлителей и выравнивания потенциала на заземляющем устройстве / Г.В. Иванов, Б.С. Кравченко // Сиб. науч. вестн. -2008. -Вып.ХІ. -С. 74-77.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: заземляющее устройство

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Мозилов Александр Иванович, канд. техн. наук, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Иванов Геннадий Витальевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

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

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Ю.В. Дёмин, Н.А. Сычева, А.И. Мозиллов,
М.В. Воронов, Д.С. Скотников, С.В. Ивашкин

ENSURING DURABILITY OF REINFORCED CONCRETE POWER GRID STRUCTURE

«Novosibirsk state academy of water transport»

Yu.V. Demin, N.A. Sycheva, A.I. Mozilov, M.V. Voronov, D.S. Skotnikov, S.V. Ivashkin

Ensuring durability of reinforced concrete structures of power grid – the process of multistage. It includes the implementation of both technological and operational requirements, the violation of which usually leads to premature failure.

Keywords: longevity, ferroconcrete supports, the period of the service

Обеспечение долговечности железобетонных электросетевых конструкций – процесс многоступенчатый. Он включает в себя выполнение как технологических, так и эксплуатационных требований, нарушение которых приводит, как правило, к преждевременному разрушению.

Обеспечение долговечности железобетонных электросетевых конструкций – процесс многоступенчатый. Он включает в себя выполнение как технологических, так и эксплуатационных требований, нарушение которых приводит, как правило, к преждевременному разрушению. Дефекты в железобетонных опорах и фундаментах образуются вследствие нарушения технологии изготовления, транспортировки опор к месту установки, несоблюдения строительных норм и правил при сооружении высоковольтных линий. Кроме того, при эксплуатации на железобетонные электросетевые конструкции оказывает влияние множество факторов, они контактируют с различными средами: грунтом, водой, воздухом, подвержены воздействию блуждающих постоянных и переменных токов, токов плавки гололёда, токов короткого замыкания и токов молний. Не следует забывать, что на срок службы железобетонных конструкции существенно влияют и циклы «замораживания-оттаивания». В связи с этим дефекты развиваются, что приводит к разрушению бетона, коррозии арматуры и, в конечном итоге, к снижению несущей способности опор и фундаментов и сокращению их срока службы.

Исследования показывают, что скорость коррозионных процессов в основном зависит от проницаемости бетона для агрессивной среды и реакционной емкости бетона по отношению к агрессивным компонентам среды. Применение добавок позволяет существенно снизить проницаемость и в ряде случаев уменьшить реакционную способность цементного камня по отношению к агрессивным веществам. То есть, чем выше плотность бетона, тем выше и его коррозионная стойкость и морозостойкость [3, 4].

Проиллюстрируем это утверждение оценивая срок службы действующих фундаментов на ВЛ-1150 кВ «Экибастуз-Барнаул» [5, 6]. Для характеристики поровой структуры бетона фундаментов были отобраны пробы и выполнены порогаммы методом ртутной порометрии для фундаментов. В данной работе рассмотрим результаты измерения фундамента №259 (таблица 1).

Таблица 1 – Распределение пор фундамента №259 на участке «Экибастуз-Барнаул»

Радиус пор, мкм	Доля пор данного радиуса для фундамента №259
$5 \cdot 10^{-3}$	0,17
$5 \cdot 10^{-2}$ и 0,1	0,43
не более 0,1	0,40

Проанализировав полученные значения по фундаменту №259 (опираясь на таблицу 2) можно сделать выводы, что в бетоне фундамента преобладают поры групп 2 и 3, эти структуры обусловлены высоким водоцементным соотношением – В/Ц 0,6 и являются коррозионно-уязвимыми. Полученные данные полностью соответствуют прочностным характеристикам фундаментов, которые либо имеют бетон ниже проектной марки, либо вовсе осыпаются.

Как говорилось ранее, на срок службы железобетонных конструкции существенной влияют циклы «замораживания-оттаивания».

Морозостойкость M – объективная характеристика стойкости бетона также и к «физической коррозии».

Для бетона с маркой морозостойкости $M = 100-500$ морозостойкость можно определять

по экспериментальной зависимости [2]

$$M = (12 - PK) 2,7, \quad (1)$$

где PK – общая капиллярная пористость, определяемая, например, на основе порограмм на «AUTO-PORE9200».

Таблица 2 – Характеристика бетона в зависимости от преобладающей группы пор (классификация НИИЖБа)

Преобладающая группа пор	Структура бетона	Материал
1	Особо плотная	Цементный камень из теста нормальной густоты
2	Диффузионно- и капиллярная проницаемость	Плотные цементные растворы (цемент-песок 1:1, 1:2; В/Ц=0,3)
1;2	Плотная	
3	Проницаемая	В/Ц=0,6 (1:3)
1;3	Пористая с плотным каркасом	Газобетон
2;3	Проницаемая	В/Ц=0,6 (1:3 и более тощие растворы)

Примечание: 1 группа пор-ультромикронны с радиусом менее 50 Å; 2 группа пор-микропоры с радиусом 50-1000 Å (переходные); 3 группа-микропоры с радиусом более 1000 Å (такие поры – основные пути перемещения жидкой и газообразной фаз в бетоне)

Общая пористость для бетона фундаментов на ВЛ-1150 кВ «Экибастуз-Барнаул» оказалась равной 40,67%. Для сравнения у полимербетона – 36,65%.

На кривой интегрального и дифференциального распределения пор (рисунок 1) определим доли капиллярных макропор (1-10 мкм) (отрезок ВС) получим соответственно для «обычного» бетона – 10%, для полимербетона – 6%.

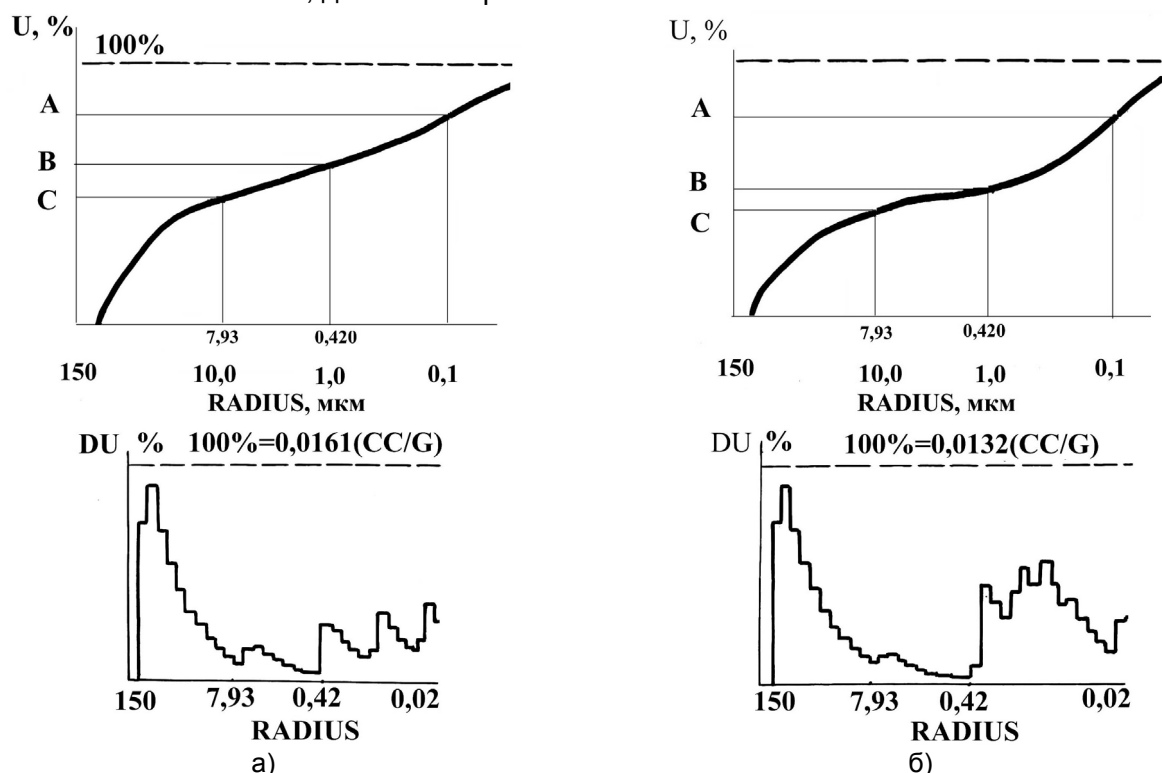


Рисунок 1 – Кривые интегрального U и дифференциального DU распределения пор: отрезок «BC» – доля капиллярных макропор 1-10 мкм; отрезок «AB» – доля микрокапиллярных пор: а)- «обычный» бетон – 10%; б)-полимербетон – 6%

Для обычного бетона фундаментов капиллярная пористость оказалась равной $PK = 4\%$ и, следовательно, по рисунку 2. морозостойкость равна $M = 250$, а для сравнения у полимербетона – $PK = 2\%$ и $M = 500$.

Наличие большого процента микрокапиллярных пор (участок АВ см. рисунок 1) у полимербетона способствует улучшению его коррозионной стойкости.

Следовательно, обычный бетон железобетонных фундаментов на трассе «Экибастуз-Барнаул» не является морозостойким и коррозионностойким.

Расчет срока службы фундаментов, находящихся в агрессивных условиях.

Для расчета долговечности фундаментов воспользуемся зависимостью (2) [5-7]. Время эксплуатации конструкции равно

$$t = \frac{(L/1,25)^2}{K_Б}, \text{ ч}, \quad (2)$$

где L – глубина коррозионного повреждения бетона, см;

$K_Б$ – коэффициент агрессивности среды с учетом свойств бетона;

По этой методике расчета можно определить лишь минимально гарантированный срок службы, так как при этом учитываются лишь процессы коррозии бетона в жидкой среде.

Итак, фундамент №259 – находясь в агрессивных (сильная агрессия по SO_4^{2-} , слабая агрессия по Cl^-) на сегодняшний день имеет прочность бетона порядка 116 кг/см^2 .

Концентрация C агрессивного раствора с учетом SO_4^{2-} и Cl^- равна $C = 600 \text{ мг/л}$; водоцементное отношение W примем равным $W = 0,6$, исходя из структуры бетона.

Из номограммы (рисунок 3) на основе C и W найдем $K_Б = 11 \cdot 10^{-5}$.

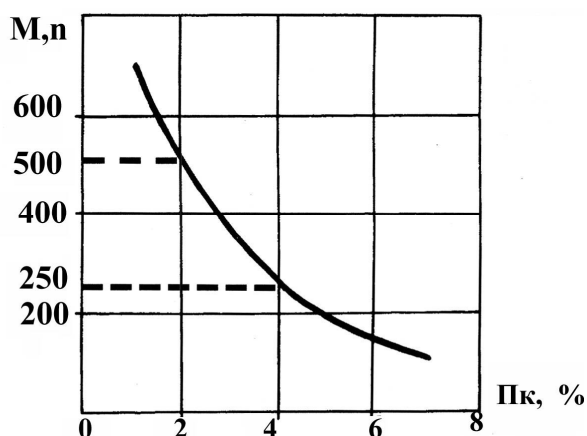


Рисунок 2 – Зависимость морозостойкости бетона от его капиллярной пористости

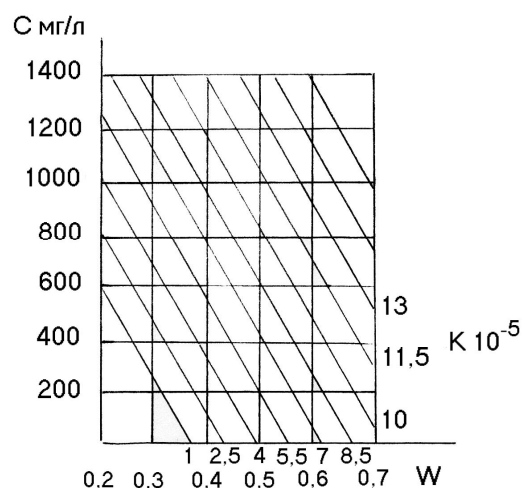


Рисунок 3 – Номограмма определения коэффициента агрессивности среды

Время, в течение которого разрушится защитный слой бетона с $L = 2,5 \text{ см}$, определится на основе выражения (3)

$$t = \frac{L^2}{1,563 \cdot K_Б} = \frac{6,25}{1,563 \cdot 11 \cdot 10^{-5}} = 40000 \text{ ч}. \quad (3)$$

Учитывая, что в году 8760 ч, это составит около 4,5 лет. Однако этот расчет не учитывает отсутствие морозостойкости, что видно из рисунка 2.

Теперь произведем расчет при условии, что водоцементное соотношение соответствовало бы величине 0,3 (плотные структуры). В этом случае $K_Б = 2,5 \cdot 10^{-5}$

$$t = \frac{(2,5/1,25)^2}{2,5 \cdot 10^{-5}} = 160000 \text{ ч или около 18 лет}.$$

Из выполненных расчетов видно, чем плотнее структура бетона, тем выше срок его службы.

Поскольку срок службы опорных конструкций должен составлять 40-50 лет, то исходя из этого требования определим каким должен быть бетон долговечной железобетонной ЭК, например, для условий трассы ВЛ-1150 кВ «Экибастуз-Барнаул». Воспользуемся формулой (4) и следующими данными $L = 2,5 \text{ см}$; $C = 600 \text{ мг/л}$; $t = 400000 \text{ ч}$ (45 лет).

$$400000 = \frac{(2,5/1,25)^2}{K_Б}. \quad (4)$$

Отсюда, $K_Б$ должно быть равно $1 \cdot 10^{-5}$ и меньше, что по номограмме (рисунок 3) соответствует «особо плотным структурам». Водоцементное соотношение должно соответство-

вать величине 0,20-0,25.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Демин, Ю.В. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций в агрессивных средах. Кн.1. Теоретические основы / Ю.В. Демин, Р.Ю. Демина, В.П. Горелов; под ред. В.П. Горелова. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 1998. -210 с.

2 Демин, Ю.В. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций в агрессивных средах. Кн.2. Практические рекомендации / Ю.В. Демин, Р.Ю. Демина, П.В. Горелов; под ред. В.П. Горелова. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 1998. -190 с.

3 Асеев, Г.Е. Повышение долговечности электросетевых конструкций: обзор. информ. / Г.Е. Асеев, Ю.В. Демин, И.В. Клековкин. -М.: Информэнерго, 1989. -48 с.

4 Изучение процесса электрокоррозии и расчет ее скорости на подстанции 1150 кВ «Челябинская»: отчет о НИР (промежут.) / СибНИИЭнергетики; рук. Ю.В. Демин. -ГР 01860093440; Инв.№ 02870051878. -Новосибирск, 1986. -109 с.

5 Разработка рекомендаций для проектирования заземляющего устройства подстанции «Челябинская» 1150 кВ: отчет о НИР (промежут.) / СибНИИЭнергетики; рук. И.В. Ивакин. -Новосибирск, 1981. -17 с.

6 Сафрошкина, Л.Д. Анализ состояния железобетонных фундаментов ВЛ-1150 кВ «Экибастуз-Барнаул» / Л.Д. Сафрошкина, Ю.Р. Гунгер, Ю.В. Демин // Электроэнергия и будущее цивилизации: материалы докл. междунар. науч.-техн. конф /Том. гос. ун-т. -Томск, 2004. -С. 174-177.

7 Сафрошкина, Л.Д. Расчет срока службы электросетевых конструкций / Л.Д. Сафрошкина, Ю.Р. Гунгер, Ю.В. Демин // Электроэнергия и будущее цивилизации: материалы докл. междунар. науч.-техн. конф / Том. гос. ун-т. -Томск, 2004. -С. 178-180.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: долговечность, железобетонные опоры, срок службы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Демин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Сычева Наталья Александровна, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Мозилов Александр Иванович, канд. техн. наук, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Воронов Максим Владимирович, студент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Скотников Дмитрий Сергеевич, студент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Ивашкин Сергей Владимирович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

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

СПОСОБ УЧЕТА ВРЕМЕНИ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОВОЗА ВЛ10 ПО СЦЕПЛЕНИЮ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Ш.К. Исмаилов, А.С. Талызин, Н.В. Есин

WAY OF THE ACCOUNT OF TIME OF EXTREME WORK OF ELECTRIC LOCOMOTIVE VL10 ON COUPLING

«Omsk state transport university»

Sh.K. Ismailov, A.S. Talyzin, N.V. Yesin

In article possibility of application of concept of time of extreme work of the locomotive on coupling to forecasting of deterioration of bandages of wheel pairs electric locomotives is proved. The description of the device for the account of time of extreme work is resulted. Offers on possible use of the received information are given.

Keywords: electric locomotive, bandages of wheel pair, deterioration, time of extreme work the account device

Обосновывается возможность применения понятия времени экстремальной работы локомотива по сцеплению к прогнозированию износа бандажей колесных пар электровозов. Приведено описание устройства для учета времени экстремальной работы. Даны предложения по возможному использованию полученной информации.

Одним из многих факторов, влияющих на безопасность движения поездов, является состояние поверхности и величина износов бандажей колесных пар электровозов. В настоящее время при существующей в ОАО РЖД планово-предупредительной системе ремонта локомотивов при их постановке на ремонт качественная и количественная оценка состояния бандажей колесных пар электровозов производится на основании замеров геометрических параметров бандажей в депо локомотивно-гребневым и универсальным (УТ-1) шаблонами.

Если при выполнении замеров бандажей колесных пар шаблонами окажется, что величина износа элементов бандажа достигла предельных (опасных) значений, установленных нормативными документами ОАО «РЖД», то бандажи колесных пар должны быть обточены в ремонтном депо на станке КЖ-20М без их выкатки из-под электровоза. При планируемом ОАО «РЖД» отказе от планово-предупредительной системы ремонта локомотивов и переходе на систему ремонтов по их фактическому состоянию может возникнуть проблема определения ресурса бандажей, прогнозирования величин износов и принятия решения о сроке постановки электровоза на обточку бандажей колесных пар.

Возможным решением данной проблемы может стать прогнозирование величины износа бандажей колесных пар электровозов на основе определения зависимости между величиной износа поверхности бандажей $h_{из}$ из и временем экстремальной работы локомотива $t_{экстр}$, то есть $h_{из}(t_{экстр})$.

Износ бандажей колесных пар электровозов определяется несколькими факторами, среди которых, согласно энергетическому критерию износа, главенствующую роль играет мощность сил трения в зоне контакта «колесо-рельс» [1, 2].

Мощность сил трения, определяется величиной продольного скольжения колеса по поверхности рельса, без которого невозможна реализация тягового усилия

$$P_1 = F_{сц}(V_{ск.х})V_{ск.х},$$

где $F_{сц}(V_{ск.х})$ – сила сцепления колеса с рельсом, являющаяся сложной функцией скорости скольжения в продольном направлении $V_{ск.х}$, приведенная на рисунке 1 [1, 3].

Восходящая часть характеристики сцепления, приведенная на рисунке 2, может быть представлена [1] двумя участками, имеющими существенно разные наклоны (участок №1 «0-б»; участок №2 «б-а»). Подобный характер восходящей части кривой сцепления объясняется упруго-вязкой природой трения. Большая часть силы сцепления (до 80% от максимальной) и, соответственно, силы тяги, достигается на участке «0-б-а» при весьма малых скоростях скольжения $V_{ск}$, что является следствием преобладания упругих деформаций. Остальные 20% силы сцепления (участок «б-а») достигаются за счет непропорционального роста скольжения и резкого увеличения доли пластических деформаций контактной пары «колесо-рельс».

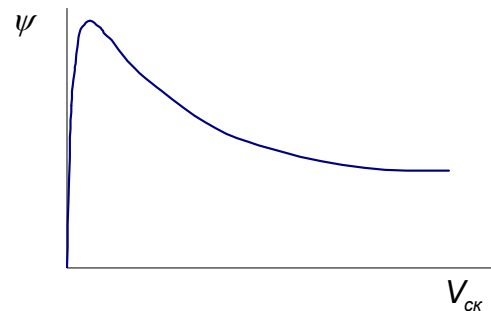


Рисунок 1 – Характеристика сцепления

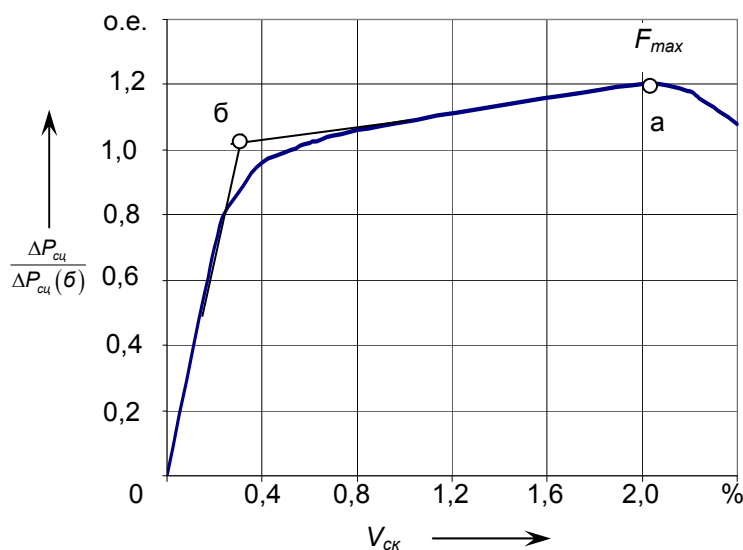


Рисунок 2 – Восходящая часть характеристики сцепления

Для сравнения потерь мощности при работе электровоза на различных участках характеристики сцепления можно обратиться к графической характеристике потерь мощности,

приведенной на рисунке 3 [1]. Линеаризация зависимостей двумя прямыми «0-б» и «б-а» показывает, что величины мощности потерь в точках а и б отличаются в 12 раз, то есть увеличение силы тяги на 0,2 о.е. приводит к росту потерь мощности на 1200 %, что сопровождается интенсивным износом бандажей колесных пар электровозов.

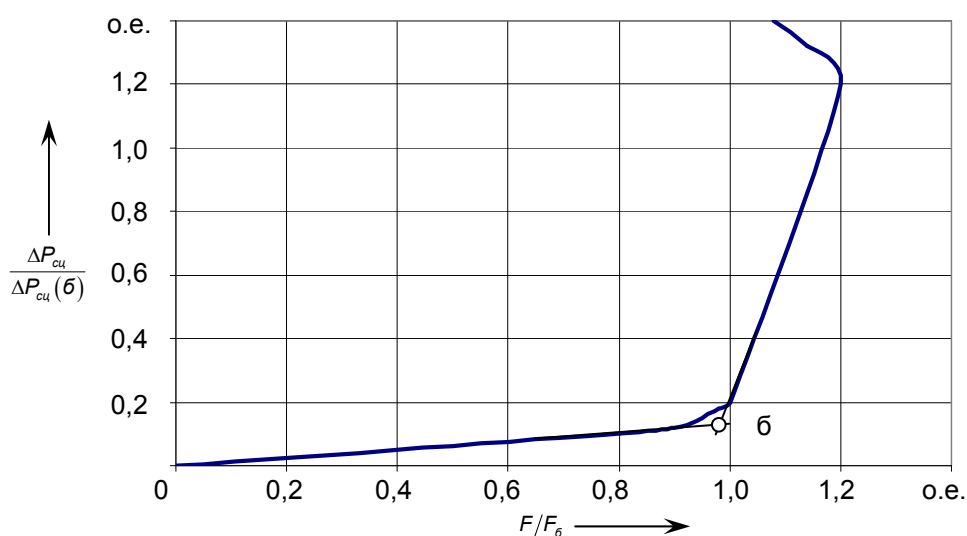


Рисунок 3 – Графическая характеристика потерь мощности

Увеличенный износ бандажей имеет место при максимальных и близких к ним тяговых усилиях $F_{к экстр}$, сопровождаемых предельным и субпредельным рабочим проскальзыванием колесных пар электровоза $V_{ск.х экстр}$, что определяется массой поезда и продольным профилем участка [3]. В качестве иллюстрации можно привести данные интенсивности износа поверхностей бандажей электровозов приписки нескольких депо, обращающихся на полигонах, отличающихся профилем пути (таблица).

Таблица – Интенсивность износа поверхностей катания и гребней бандажей электровозов ВЛ10

Депо приписки локомотива	Износ гребня, мм/10000 км	Износ поверхности катания, мм/10000 км
Омск	0,273	0,038
Петропавловск	0,262	0,050
Курган	0,276	0,051

Наибольшая мощность сил трения имеет место [1] при реализации электровозом силы тяги

$$F_k = (0,75 \dots 1,00) F_{сц}.$$

Отношение длительности работы локомотива с максимальными и близкими к ним тяговыми усилиями, называемое также временем экстремального использования по сцеплению $t_{экстр}$ [4], определенное для конкретного участка, к общему времени движения локомотива с поездом по участку $t_{общ}$ называется коэффициентом экстремальной работы

$$K_{экстр} = \frac{t_{экстр}}{t_{общ}}.$$

Данный коэффициент показывает, какую долю общего времени своей работы локомотив работал с максимальной силой тяги, сопровождаемой увеличенным износом бандажей.

Время работы локомотива является одним из показателей работы тягового подвижного состава наряду с пробегом, производительностью, удельным расходом электроэнергии. Доказано [5], что для прогнозирования износа бандажей возможно использование любого и только одного из четырех рассмотренных эксплуатационных показателей.

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 при реализации предельных и субпредельных тяговых усилий $F_{к экстр}$, чему соответствует ток якоря (550-700 А) тягового электродвигателя ТЛ-2К1 электровоза ВЛ-10.

Предлагаемое устройство учета времени экстремальной работы электровоза работает

следующим образом: За величиной тока якоря тягового электродвигателя следит датчик тока, который будет выдавать сигнал управления при достижении тока якоря величины, большей 550 А. Данный сигнал после обработки в блоке согласования поступает на управляющий вход суммирующего счетчика, который при этом начинает вести учет времени протекания тока якоря более 550 А. Кроме того, счетчик учитывает импульсы от генератора тактовых импульсов. Учетное время экстремальной работы хранится в памяти счетчика и может быть выведено на визуальный блок индикации для контроля. Описанные пять элементов устройства служат для сбора информации о количестве времени экстремальной работы электровоза.

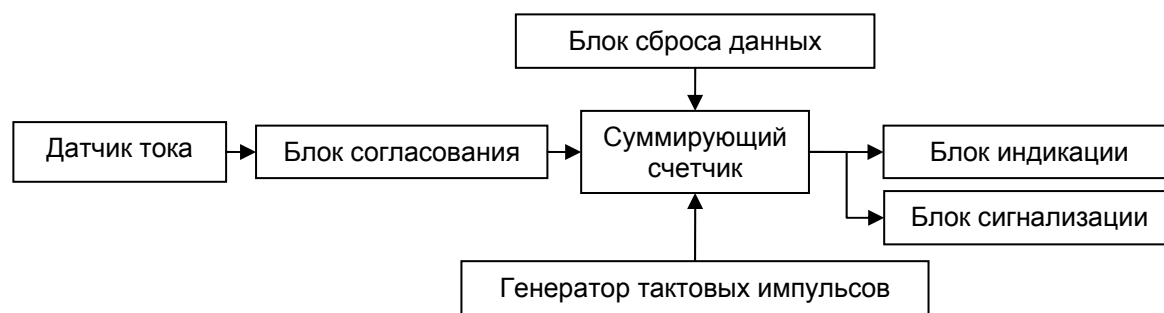


Рисунок 4 – Блок-схема устройства учета времени экстремальной работы электровоза ВЛ10 по сцеплению

При достижении определенного (установленного на основании опытных поездок и расчетов) количества часов экстремальной работы, требующего постановки электровоза на обточку бандажей по их критическому износу, устройство выдаст сигнал об этом на блок сигнализации. При появлении такого сигнала электровоз должен быть в ближайшее время поставлен в депо для обточки бандажей колесных пар. После обточки бандажей память счетчика очищается блоком сброса данных.

Данные замеров бандажей колесных пар электровозов, взятые в локомотивных ремонтных депо и занесенные в паспорта колесно-моторных блоков, позволят определить интенсивность нарастания износа, связав эти величины с полученными при помощи предлагаемого устройства результатами учета времени экстремальной работы.

Располагая полученной зависимостью между износом поверхностей бандажа и временем экстремальной работы локомотива, можно с достаточной степенью вероятности прогнозировать интенсивность нарастания износа до его критических величин без фактических замеров в депо и определить время обязательной постановки локомотива на обточку по предельно допустимому износу бандажей, а также ресурс бандажей колесных пар электровозов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лисунов, В.Н. Использование сил взаимодействия движущего колеса с рельсом в режимах тяги и электрического торможения: монография / В.Н. Лисунов / Ом. гос. ун-т путей сообщения. -Омск, 2003. -160 с.
- 2 Крагельский, И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. -М.: Машиностроение, 1968. - 480 с.
- 3 Лисицын, А.Л. Нестационарные режимы тяги / А.Л. Лисицын, Л.А. Мугинштейн. -М.: Интекст, 2003. -343 с.
- 4 Лисунов, В.Н. Оптимальное использование силы тяги локомотивов по сцеплению / В.Н. Лисунов // Ж.-д. трансп. -1982. -№9. -С. 62-63.
- 5 Исаев, И.П. Факторный анализ процессов изнашивания бандажей колесных пар электровозов / И.П. Исаев, А.В. Горский, А.А. Воробьев // Вестн. ВНИИЖТа. -1980. -№4. -С. 22-26.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электровоз, бандажи колесной пары, износ, время экстремальной работы устройство учета

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Исмаилов Шафигула Калимуллович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Талызин Александр Сергеевич, ст. преподаватель ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Есин Николай Васильевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К.Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЕНСАТОРОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

ГОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»

А.Н. Сычугов

THE CONCEPT OF APPLICATION OF HYBRID FILTERS

«Petersburg state transport university»

A.N. Sychugov

The variant of work of the traction unit with the capacitor storing device of energy is considered at start-up of electric transport and the developed simulation model of power circuits of the unit is presented.

Keywords: hybrid filters, the active filter

Рассмотрен вариант работы тягового агрегата с емкостным накопителем энергии при пуске электрического транспорта и представлена разработанная имитационная модель силовых цепей агрегата.

В России протяженность железных дорог составляет более 85,5 тыс. км. Грузооборот за 2008 год составил 2,4 трлн. ткм, за 2009 г. более 2,14 трлн. ткм. Более 60% всех перевозимых грузов приходится на электрифицированные железнодорожные линии, протяженность которых составляет более 43 тыс. км. На российских железных дорогах электрификация выполнена на два рода тока: постоянный ток и переменный ток. Исторически, первой была система постоянного тока, участок Балтимор-Огайо в 1985 году. Однако, уже через 8 лет появился первый участок на переменном токе. Такая система обладает неоспоримыми преимуществами: во-первых, простота устройств тяговых подстанций, нет необходимости выпрямлять ток, во-вторых, это более высокое напряжение в 25 кВ, по сравнению с 3 кВ на постоянном токе, а, значит расстояние между тяговыми подстанциями увеличивается до 70 км, по сравнению с системой постоянного тока, где оно составляет 20-25 км, соответственно стоимость строительства, трудозатраты и расход цветного металла существенно ниже, в-третьих, переменное напряжение промышленной частоты 50 Гц позволяет осуществлять питание нетяговых потребителей от контактной сети, в-четвертых, возможность использовать тяговые электродвигатели постоянного тока с оптимальным напряжением. Но, при всех достоинствах системы переменного тока, она обладает рядом существенных недостатков: во-первых, искажение формы потребляемого тока при применении простейших статических преобразователей, во-вторых, несимметрия нагрузки по фазам в системе первичного энергоснабжения и, в-третьих, усложняется конструкция электровазов из-за необходимости применения преобразователей. Несмотря на все недостатки, эксплуатация электровазов переменного тока оказывается экономически выгоднее, поэтому остро стоит задача минимизировать недостатки данной системы. Компанией ОАО «РЖД» разработана программа по повышению эффективности работы железнодорожного транспорта, в соответствии с которой, поставлена задача о модернизации электровазов: увеличении коэффициента мощности и улучшении показателей качества потребляемой и рекуперированной энергии [1].

В настоящее время на железной дороге эксплуатируются серийные электровазы со ступенчатым регулированием напряжения и диодными выпрямителями (ВЛ80, ВЛ80С) и плавным зонно-фазовым регулированием напряжения (ВЛ85, ВЛ65, ЭП1, 2ЭС5К). Коэффициент мощности этих электровазов не превышает 0,84, а как показывает практика, потребление реактивной мощности приближается к потреблению активной мощности. Коэффициент мощности определяется по формуле

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{P}{S}, \quad (1)$$

где Q — реактивная мощность;

P — активная мощность;

S — полная мощность.

Ток контактной сети

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{U}, \quad (2)$$

где U — напряжение контактной сети.

Таким образом, при увеличенном потреблении реактивной мощности возрастает и зна-

чение потребляемого тока из контактной сети, что требует дополнительного усиления контактного провода.

Активные потери в тяговой сети будут определяться по формуле

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R, \quad (3)$$

где ΔP – активные потери в тяговой сети;

R – активное сопротивление тяговой сети.

Вследствие увеличенного потребления реактивной мощности потери в тяговой сети возрастут в квадратичной зависимости, из-за этого происходит перерасход энергии на тягу поездов, что требует дополнительных затрат на оплату электроэнергии.

Потери напряжения в тяговой сети определяются по

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U}, \quad (4)$$

где ΔU – падение напряжения в тяговой сети;

X – реактивное сопротивление тяговой сети.

Здесь увеличенное потребление реактивной мощности приводит к понижению напряжения на токоприемнике электровоза, что требует дополнительного увеличения тока, который в свою очередь приводит к еще большим потерям напряжения.

Это особенно важно для тяжеловесных поездов, так как падение напряжения и потери мощности квадратично зависят от потребляемой мощности, это может привести к снижению напряжения в контактной сети до предельно минимального значения 19,5 кВ, а увеличенные потери существенно снижают экономическую эффективность от внедрения тяжеловесных поездов.

Помимо всего этого, электровозы, оборудованные выпрямительно-инверторным преобразователем (ВИП) при коммутации дооперационных тиристоров генерируют в сеть высшие гармоники, которые искажают кривую синусоидальную напряжения.

Чтобы решить поставленные задачи необходимо применить устройство, которое позволит компенсировать реактивную мощность, потребляемую электровозом. Компенсатор реактивной мощности (КРМ) представляет собой LC-контур (рисунок 1).

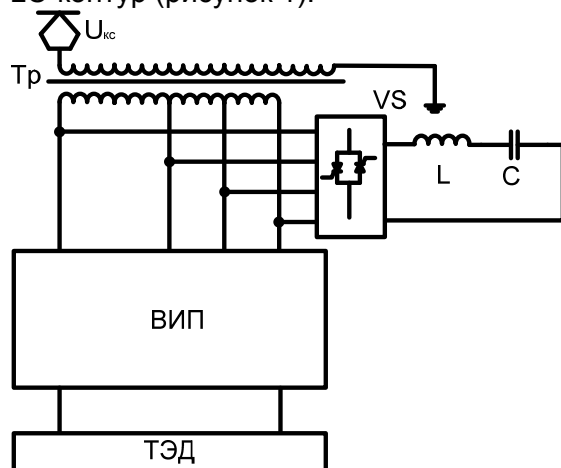


Рисунок 2 – Принципиальная схема подключения КРМ



Рисунок 1 – Нерегулируемый компенсатор реактивной мощности

Компенсатор подключают к обмоткам трансформатора через управляемый ключ (тиристор). Принципиальная схема подключения КРМ представлена на рисунке 2.

Данное устройство, как показывает практика применения на электровозе ВЛ85-023, позволяет получить коэффициент мощности 0,92. Этот коэффициент получается за счет применения КРМ, который в свою очередь позволяет получить меньший, по сравнению со штатной схемой (24 эл. град.), угол регулирования 19 эл. град., а значит уменьшить угол между током и напряжением, то есть увеличить коэффициент мощности. Однако, применяя нерегулируемый контур КРМ, улучшение коэффициента мощности происходит только в узком диапазоне регулирования напряжения, это один из главных недостатков. Не регулируемый компенсатор также не способен подавлять высшие гармоники, образующиеся во время коммутации тиристоров выпрямительно-инверторного преобразователя, это является вторым существенным недостатком [2].

Для полной компенсации реактивной мощности применяют активные фильтры (АФ). Принцип активной фильтрации заключается в компенсации реактивной мощности и подавлении высших гармоник во всем рабочем диапазоне, контролируя нелинейные сетевые нагрузки и генерируя синусоидальное напряжение в противофазе, тем самым компенсируется

нелинейная токовая нагрузка. Устройство представляет собой 4qS преобразователь со звеном постоянного тока (рисунок 3).

Выделяют несколько типов схем активных фильтров: многотактные фильтры, многоуровневые фильтры, фильтры с плавающими конденсаторами. Каждое схемотехническое решение имеет свои достоинства и недостатки. Так, например, существенным плюсом многотактных фильтров является более низкое значение тока в звене постоянного напряжения, а преобразовательная часть сравнительно низковольтна. Существенным недостатком всех схемных решений является значительная стоимость элементов, а значит и всего устройства, так как для компенсации мощности электровоза потребуется преобразователь соизмеримой мощности. Таким образом, применение активного фильтра оказывается экономически невыгодным.

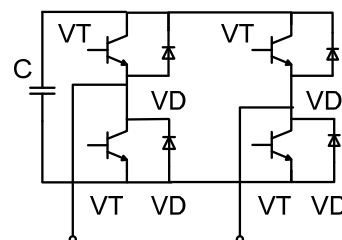


Рисунок 3 – Принципиальная схема активного фильтра

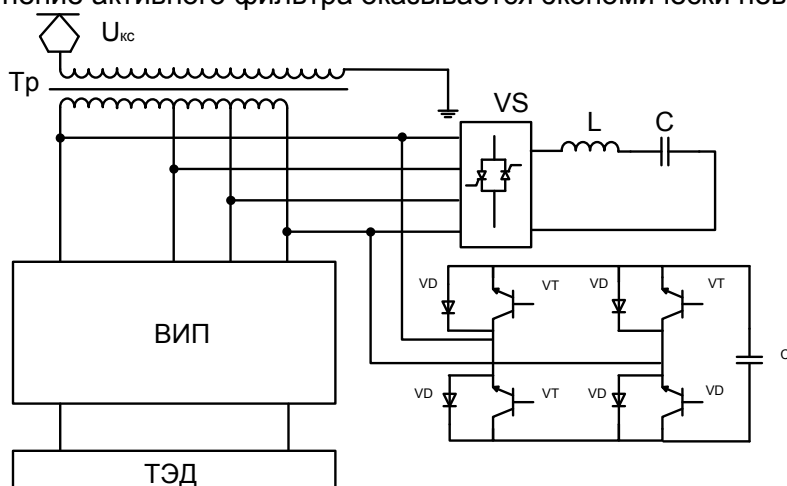


Рисунок 4 – Принципиальная схема подключения гибридного фильтра

Чтобы получить экономическую выгоду и обеспечить компенсацию во всем рабочем диапазоне необходимо применить нерегулируемый компенсатор мощности совместно с активным фильтром (рисунок 4).

Данное устройство принято называть гибридным фильтром. Тогда, КРМ осуществляет компенсации реактивной мощности и фильтрацию одной из высших гармоник, а АФ осуществляет фильтрацию высших гармоник, вплоть до 50-ой. Возможно три варианта работы АФ: фильтрация напряжения, фильтрация тока и автофильтрация. Чтобы

обеспечить фильтрацию высших гармоник, система управления АФ должна иметь малое время быстрогодействия. Как правило, это осуществляется широтно-импульсной модуляцией с помощью микроконтроллера с высокой частотой переключения управляемых ключей. Увеличение частоты ведет к увеличению потерь, то есть снижению мощности. Избавиться от этого недостатка можно применив ступенчатую модуляцию. Это позволит избавиться от недостатков широтно-импульсной модуляции, но потребует изменить топологию схем АФ.[3] Тем не менее, большинство работ по проектированию активных фильтров в своей основе имеют систему управления с ШИМ. Частота переключения ключей при работе многотактных АФ достигает нескольких десятков кГц, что может оказать влияние на цепи СЦБ. Для подавления таких частот можно применить RC-цепи.

Применение гибридного фильтра на современном отечественном подвижном составе позволит значительно улучшить энергетические показатели: коэффициент сдвига, коэффициент искажения, коэффициент гармоник, повысить коэффициент мощности до 0,99 в режиме тяги и до 0,98 в режиме рекуперативного торможения [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Стратегические направления научно-технического развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 г. («Белая книга» ОАО РЖД) [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://rzd.ru>
- 2 Компенсация реактивной мощности – веление времени / А.А. Тимошук, В.В. Литов-

ченко, Н.Н. Широченко. Н.Ф. Лавренчук // Локомотив. -2009. -№12. -С. 37-38.

3 Кулинич, Ю.М. Повышение синусоидальности формы напряжения в контактной сети при работе электровозов однофазно-постоянного тока / Ю.М. Кулинич, Ю.С. Кабалык // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№2. -С. 390-393.

4 Кулинич, Ю.М. Повышение энергетических показателей электровозов переменного тока с коллекторными тяговыми двигателями / Ю.М. Кулинич, А.Н. Савоськин // Вестн. ВЭЛНИИ. -2006. -С. 163-169.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гибридные фильтры, активный фильтр

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Сычугов Антон Николаевич, аспирант ГОУ ВПО «Петербургский ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 190031, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 9, ГОУ ВПО «Петербургский ГУПС»

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УСТРОЙСТВА ТЯГОВОГО ПРИВОДА С ЕМКОСТНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

ГОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»

В.А. Васильев

SIMULATION MODEL OF THE DEVICE OF THE TRACTION DRIVE WITH THE CAPACITOR STORING DEVICE OF ENERGY
«Petersburg state transport university»

V.A. Vasilev

The variant of work of the traction unit with the capacitor storing device of energy is considered at start-up of electric transport and the developed simulation model of power circuits of the unit is presented.

Keywords: energy storage, traction drive

Рассмотрен вариант работы тягового агрегата с емкостным накопителем энергии при пуске электрического транспорта и представлена разработанная имитационная модель силовых цепей агрегата.

Одним из основных эксплуатационных преимуществ электрической тяги является электрическое торможение, существенным достоинством которого является способность возвращать значительную часть энергии в тяговую сеть, что способствует снижению общего расхода энергии на тягу. При отсутствии в тяговой сети потребителя энергии одним из возможных способов сохранения или запаса её для последующего пуска подвижного состава возможно применение накопителей энергии, установленных на борту электрического транспорта. Также емкостной накопитель может заряжаться от контактной сети во время посадки и высадки пассажиров в тех случаях, когда энергия торможения недостаточна запасена для последующего пуска поезда.

При использовании энергии накопителя для питания тягового двигателя возникает необходимость включения между тяговыми двигателями и накопителем преобразователя, за счет которого происходит согласование характеристик тягового двигателя в режиме разгона, и конденсаторного накопителя в режиме разряда. Этим преобразователем может служить широтно-импульсный регулятор (рисунок 1), с помощью которого изменяется продолжительность подключения нагрузки к накопителю. При этом уменьшаются потери мощности в регуляторе по сравнению с традиционным реостатным методом, а также улучшаются другие показатели системы автоматического регулирования привода, такие, как диапазон регулирования, плавность, быстродействие.

Преобразователь включается только в периоды пуска для поддержания пускового тока на заданном уровне, и управляет этим процессом система управления СУ, которая регулирует коэффициент заполнения от 0 до 1. Система управления обрабатывает поступающие сигналы от датчиков обратной связи и формирует управляющие сигналы на входе блока разрядного устройства. Первый из входных каналов несет информацию о входном напряжении U_d , которое изменяется в процессе работы. Сигнал U_1 информирует о состоянии широтно-импульсного регулятора в данный момент времени. Сигнал U_c содержит информацию об энергии, запасенной в емкостном накопителе на данный момент времени, который используется для корректировки разрядного процесса. Система управления сравнивает сигнал U_c с сигналом U_d , и формирует управляющий сигнал $U_{упр1}$, определяющий режим работы широтно-импульсного регулятора.

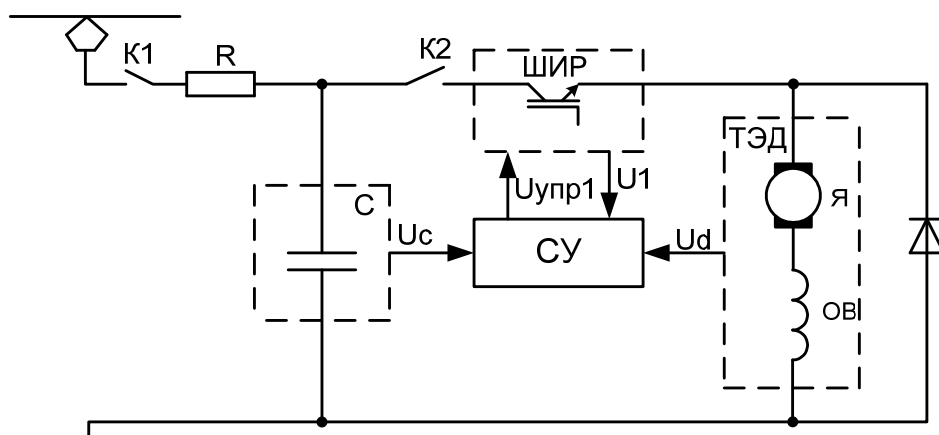


Рисунок 1 – Упрощенная принципиальная схема

Для исследований схемы разработана имитационная схемотехническая модель в пакете SimPowerSystems (Matlab Simulink), которая позволяет наблюдать процессы в тяговом приводе с накопителем и влияние параметров цепей контактная сеть – накопитель и накопитель – тяговый двигатель на свойства передачи энергии по этим цепям.

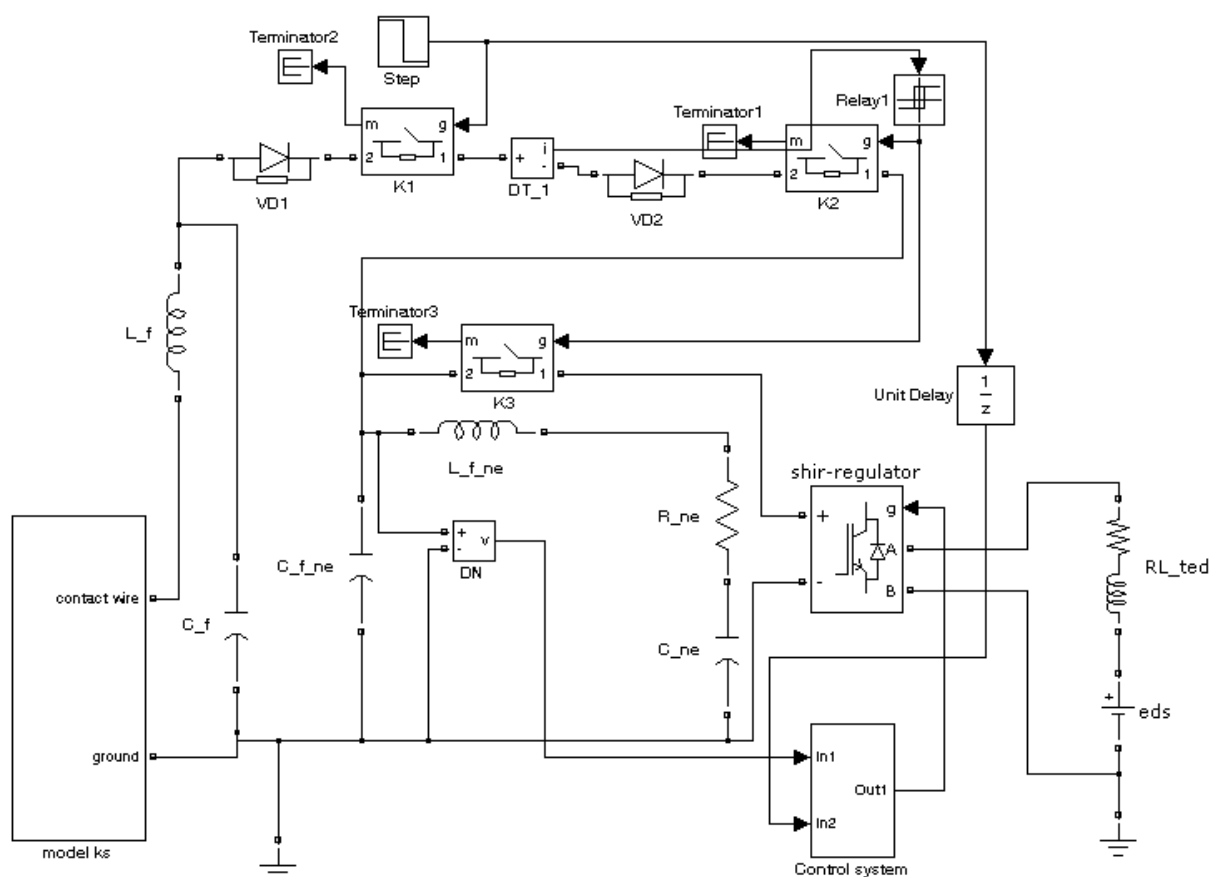


Рисунок 2 – Имитационная модель силовых цепей тягового агрегата при использовании накопителя

В представленной имитационной модели (рисунок 2) накопитель вначале заряжается от контактной сети через входной фильтр L_f и C_f , диод $VD1$, переключатель $K1$, диод $VD2$, датчик тока DT , переключатель $K2$, однозвенный фильтр L_{f_ne} и C_{f_ne} . При переключении $K1$ происходит отключение накопителя от контактной сети и прекращение тока заряда, проходящего через датчик тока. При этом на выходе датчика формируется логический сигнал, управляющий переключателями $K2$ и $K3$, которые подключают накопитель к тяговому двига-

телю через широтно-импульсный регулятор, выполненный на IGBT-транзисторе. Датчик напряжения, подключенный параллельно накопителю, контролирует процесс его разрядки и по мере достижения определенного уровня напряжения закрывает регулятор. Сигнал с датчика подается на вход блока управления, сравнивается с сигналом генератора пилообразного напряжения, после чего формируется меандр переменной ширины импульса на выходе блока управления регулятора для поддержания заданного тока.

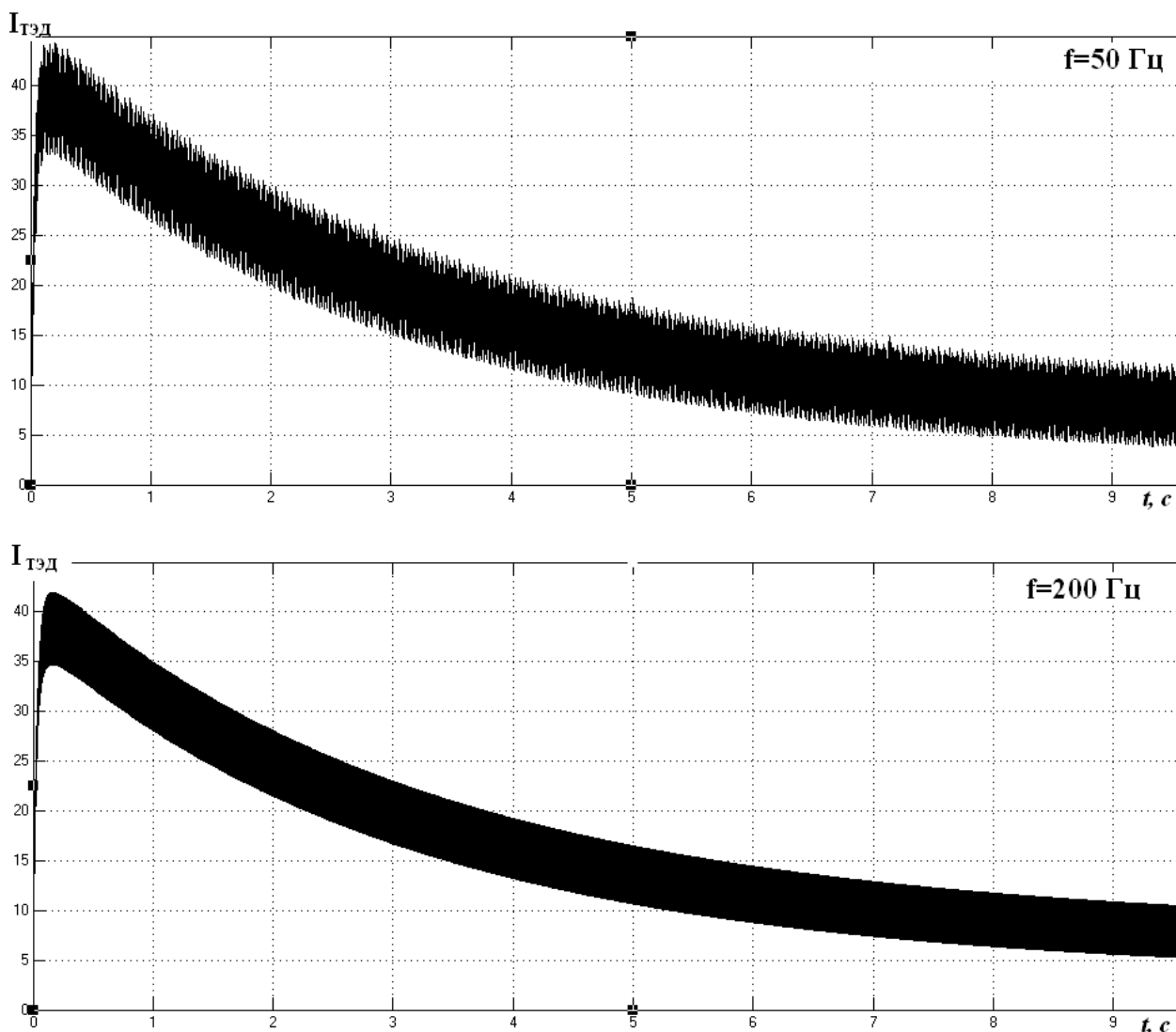


Рисунок 3 – Осциллограммы тока тягового двигателя (при разных значениях частоты тока)

На осциллограммах (рисунок 3) представлено изменение тока двигателя для разных значений частоты управления. Из рисунка видно, что ток двигателя может достигнуть максимальной величины в начале периода управления и затем спадать в течение всего периода управления. Наиболее круто спадает ток двигателя в момент выхода на ходовую характеристику, то есть когда ЭДС вращения равна питающему напряжению.

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. Применение суперконденсаторов на электрическом подвижном составе / А.М. Евстафьев // Электроника и электрооборудование трансп. -2009. -№1. -С. 16-19.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

накопитель энергии, тяговый привод

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Васильев Виталий Алексеевич, аспирант ГОУ ВПО «Петербургский ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

190031, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 9, ГОУ ВПО «Петербургский ГУПС»

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ В СИММЕТРИЧНЫХ СЕТЯХ 0,4 кВ

«Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова»

Б.Б. Утегулов, Ж.Б. Исабеков

PROGRAM REALIZATION OF THE MICROPROCESSOR DEVICE OF THE AUTOMATIC CONTROL OF ISOLATION IN SYMMETRIC NETWORKS 0,4 kV

«Pavlodar state university named S. Torajgyrov»

B.B. Ytegulov, Zh.B. Isabekov

In clause the program realization of the microprocessor device of the automatic control of isolation in symmetric networks 0,4 kV for maintenance of reliability of job of electro installations is developed

Keywords: isolation, microprocessor device, algorithm

Разработана программная реализация микропроцессорного устройства автоматического контроля изоляции в симметричных сетях 0,4 кВ для обеспечения надежности работы электроустановок.

Разработка устройства автоматического контроля параметров изоляции в сетях напряжением 0,4 кВ заключается в обеспечении безопасной и надежной работы электрооборудования. Таким образом, стоит проблема необходимости постоянного контроля изоляции.

Необходимость непрерывного автоматического контроля изоляции в симметричных сетях 0,4 кВ обуславливается повышением надежности работы электроустановок и электроснабжения потребителей в целом. В соответствии с этим, была разработана программная реализация для точного и автоматического определения параметров изоляции. В качестве языка программирования предлагается применение Delphi, который является языком высокого уровня гораздо удобнее для восприятия человеком.

На рисунке 1 представлен титульный лист программы, где описаны формулы параметров изоляции.

"Разработка микропроцессорного устройства автоматического контроля изоляции в симметричных сетях 0,4 кВ городских предприятиях"

$$y = \frac{\sqrt{3}U_A}{\sqrt{U_\pi^2 + 3U_A^2 - \sqrt{3[4U_\pi^2 U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2)^2]}}} g_0$$

полная проводимость изоляции электрической сети

$$b = \frac{U_C^2 - U_B^2}{U_\pi^2 + 3U_A^2 - \sqrt{3[4U_\pi^2 U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2)^2]}} g_0$$

емкостная проводимость изоляции электрической сети

$$g = \sqrt{y^2 - b^2}$$

активная проводимость изоляции электрической сети

где U_π – линейное напряжение;
 U_A – напряжения фазы А относительно земли;
 U_B – напряжения фазы В относительно земли;
 U_C – напряжения фазы С относительно земли;
 g_0 – активная дополнительная проводимость.

Рисунок 1 – Титульный лист

Главное окно программы представлено на рисунке 2.

В основу программного обеспечения – управляющей программы положены модели управляющих микропрограммных автоматов Мили и Мура. В автомате Мили выходной сигнал возникает одновременно с вызывающим его входным сигналом, а в автомате Мура – с задержкой на один такт. Следовательно, выходной сигнал оказывается зависящим от входного сигнала в предыдущий момент времени. Учитывая вышеперечисленные отличия в качестве основной математической модели принимается за основу автомат Мили.

Алгоритм определения параметров изоляции основан на включении выключателя дополнительной проводимости g_0 при наличии напряжения в электрической сети и если отчет времени закончен достаточного для его включения. Напряжение в сети должно быть

$U_a < U_b < U_c$. Затем считываются со вторичной обмотки трансформатора напряжения величины модулей линейного напряжения $U_{\text{лин}}$, напряжения фаз А, В и С, U_a , U_b и U_c , следом включается аналогово-цифровой преобразователь и преобразует их в цифровую форму. При наличии готовых данных происходит их считывание и отключение g_0 . Расчет параметров изоляции вычисляется при считывании времени текущего измерения и сохранения их в память с отправкой на устройства отображения. При отчете времени, равному периоду получения параметров изоляции происходит переход к началу программы.



Рисунок 2 – Программная реализация микропроцессорного устройства автоматического контроля изоляции в симметричных сетях 0,4 кВ

При работе с программным обеспечением при нажатии на кнопки:

- «Проверка наличия напряжения в электрической сети» срабатывает граф-схема алгоритма [3];
- «Очистка» происходит удаление данных в таблице параметров изоляции и графика напряжения сети;
- «На главную» осуществляется переход на титульный лист программы.

Таким образом, разработанное программное обеспечение микропроцессорного устройства позволяет производить автоматическое определение параметров изоляции, их контроль и накопление информации о ее состоянии для обеспечения надежности и качества работы электроустановок и электроснабжения потребителей в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шалыто, А.А. Автоматное проектирование программ. Алгоритмизация и программирование задач логического управления / А.А. Шалыто // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Теория и системы управления. -2000. -№6. -С. 63-81.
- 2 Шалыто, А.А. Алгоритмизация и программирование для систем логического управления и «реактивных» систем / А.А. Шалыто // Автоматика и телемеханика. -2001. -№1. -С. 3-39.
- 3 Утегулов, Б.Б. Разработка алгоритма математической модели автоматического контроля состояния изоляции в сетях 0,4 кВ городских предприятиях / Б.Б. Утегулов., Ж.Б. Исабеков // Республиканская научно-теоретическая конференция «II Торайгыровские чтения», 2007. -Павлодар, 2007. -Т.2.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: изоляция, микропроцессорное устройство, алгоритм

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Утегулов Болатбек Бахытжанович, докт. техн. наук, профессор «Павлодарский ГУ им. С.Торайгырова»

Исабеков Жанат Бейсембаевич, аспирант «Павлодарский ГУ им. С.Торайгырова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64, «Павлодарский ГУ им. С.Торайгырова»

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ГРАНУЛАМИ СУХОГО ЛЬДА

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

И.М. Дроздов

ANALYSIS OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF CLEAN ELECTRICAL MACHINES BY DRY ICE PELLETS

«Omsk state transport university»

I.M. Drozdov

The automated c system of clean electrical machines by dry ice pellets is considered. Analysis of system is carried out by the automatic control theory.

Keywords: the automatic control system, dry ice, transfer function, controller

Рассматривается автоматизированная система очистки электрических машин гранулами диоксида углерода. Проведен анализ системы с точки зрения теории автоматического управления.

Одна из перспективных на сегодняшний день технологий очистки поверхностей – технология струйной очистки сухим льдом [3].

В настоящее время предложена автоматизированная система очистки деталей и узлов электрических машин гранулами сухого льда [4]. Принцип её работы заключается в следующем: электрическая машина, подвергаемая очистке, погружается на вращающуюся платформу тележки; тележка в свою очередь, приводимая в движение электрическим двигателем, перемещается внутрь камеры, где собственно и производится очистка.

Очистка производится потоком гранул, подаваемых, с оптимального расстояния, представленному, согласно [5], в интервале от 80 до 120 мм, через сопло, позиционирование, которого осуществляется с помощью двух шаговых двигателей, обеспечивающих перемещение по вертикали и по горизонтали.

В непосредственной близости от сопла находится электромагнитный индуктивный датчик положения, с помощью которых отслеживается расстояние до объекта.

В состав автоматизированной системы входят следующие устройства: промышленный контроллер; модуль управления шаговыми двигателями (Упр. ШД), усилитель мощности (Усилит. ШД); шаговые двигатели (ШД); электромагнитный индукционный датчик положения (Д1); реле включения подачи гранул сухого льда (К1); двигатель асинхронный АИР привода вращения поворотного стола (М1). Функциональная схема системы представлена на рисунке 1.

Основной составляющей автоматизированной системы является система позиционирования рабочего органа (сопла, через которое осуществляется обдув) в горизонтальной плоскости (рисунок 2).

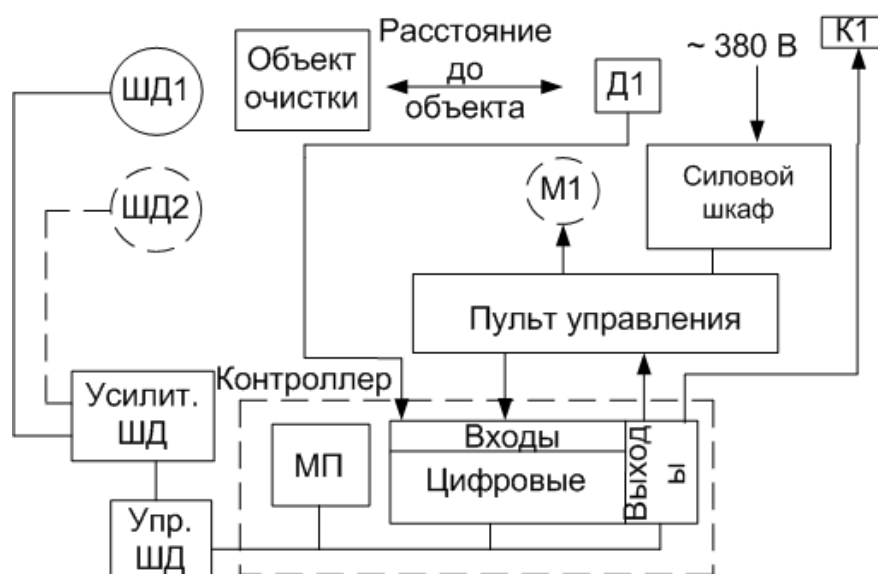


Рисунок 1 – Функциональная схема автоматизированной системы очистки

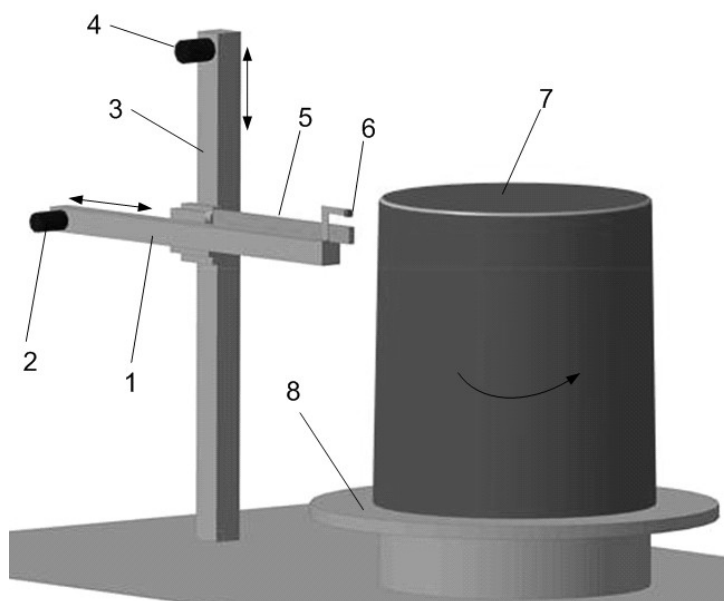


Рисунок 2 – Общий вид системы позиционирования сопла: 1-привод линейного перемещения по горизонтали; 2-шаговый двигатель ШД1; 3-привод линейного перемещения по вертикали; 4-шаговый двигатель ШД2; 5-сопло; 6-индукционный датчик Д1; 7-очищаемый объект; 8-поворотный стол

Структурная схема объекта автоматизации согласно [4]

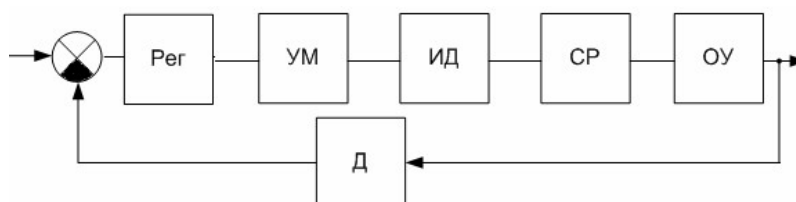


Рисунок 3 – Структурная схема системы автоматизации: Рег-регулятор; УМ-усилитель мощности; ИД-исполнительный двигатель; СР-силовой редуктор; ОУ-объект управления; Д-датчик

Исполнительным двигателем является шаговый двигатель постоянного тока, вращение которого посредством модуля линейных перемещений преобразуется в поступательное перемещение форсунки. Передаточная функция шагового двигателя выражается уравнением (1)

$$W_{ИД}(p) = \frac{\omega_{\text{пр}}^2}{s^2 + \xi s + \omega_{\text{пр}}^2}, \quad (1)$$

где $\omega_{\text{пр}}^2$ – собственная резонансная частота шагового двигателя;

ξ – коэффициент демпфирования.

Для двигателя MTR-ST 57 передаточная функция согласно [2] имеет вид

$$W_{ИД}(p) = \frac{176 \cdot 10^3}{s^2 + 336s + 176 \cdot 10^3}. \quad (2)$$

Силовой редуктор (модуль линейного перемещения по горизонтали) представляет собой винтовую передачу передаточную функцию которой можно представить в виде безынерционного (пропорционального) звена

$$W(s) = k, \quad (3)$$

где k – коэффициент передачи.

Передаточная функция реечной передачи описывается формулой (4)

$$W(s) = 0,1. \quad (4)$$

Усиление управляющего сигнала осуществляется посредством усилителя мощности, передаточная функция которого

$$W_y = k_y, \quad (5)$$

где k_y – коэффициент усиления по напряжению, при $k_y = 10$, получаем

$$W_y = 10. \quad (6)$$

В качестве измерительного элемента используется датчик положения, принцип работы которого можно сравнить с обычным клапаном, который осуществляет переключение между режимами «открыто-закрыто» и представить в виде безынерционного звена, передаточная функция которого описывается формулой (3).

Для датчика передаточная функция описывается формулой

$$W(s) = 0,89. \quad (7)$$

Объектом регулирования является расстояние до очищаемого объекта, которое и будем считать безынерционным звеном

$$k = 1. \quad (8)$$

В качестве регулирующего элемента используется П-регулятор, управляющее воздействие которого согласно [1] пропорционально отклонению выходной величины от требуемого значения

$$x(t) = K_n \varepsilon(t), \quad (9)$$

где K_n – настроечный параметр регулятора.

Передаточная функция П-регулятора имеет вид

$$W_n(s) = K_n. \quad (10)$$

Передаточная функция используемого П-регулятора описывается формулой

$$W_n(s) = 20. \quad (11)$$

П-регулятор, обладающий наряду со своими преимуществами (простота реализации, скорость регулирования), явным существенным недостатком – резкие скачки сигнала на выходе системы (рисунок 4).

Целесообразно применение двойного регулятора, переключение между регулирующими контурами которого осуществляется в зависимости от фазы движения.

Структурная схема усовершенствованной системы управления представлена на рисунке 5.

Рассматривая движение манипулятора при очистке объекта, представим его как состоящее из двух фаз: фаза движения «к объекту» и фаза движения «от объекта».

В фазе движения «к объекту», при использовании П-регулятора пусковое перерегулирование может служить причиной столкновения сопла с очищаемым объектом. В рассматриваемой фазе рациональнее использовать ПИ-регулятор, обладающий высокой точностью интегрального регулирования и быстрым действием пропорционального интегрирования на начальных этапах (12).

В фазе же движения «от объекта» применение П-регулятора абсолютно оправдано, как наиболее быстродействующего.

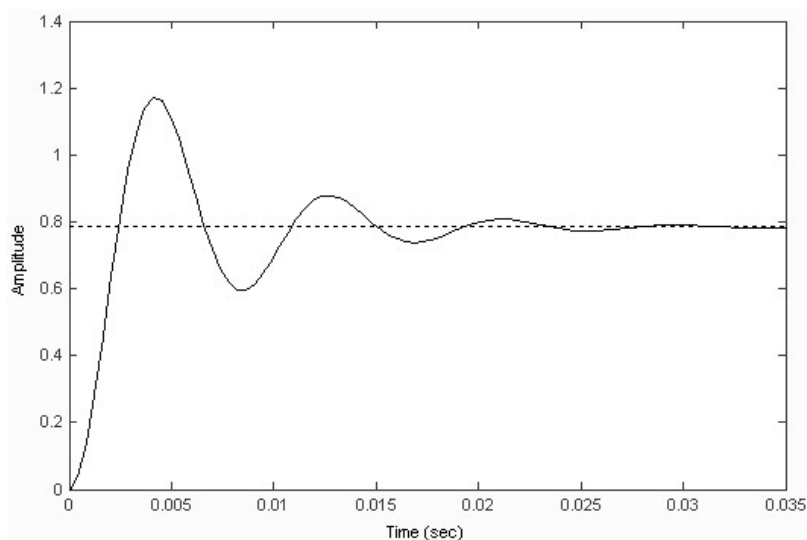


Рисунок 4 – Реакция системы с П-регулированием на единичный скачок

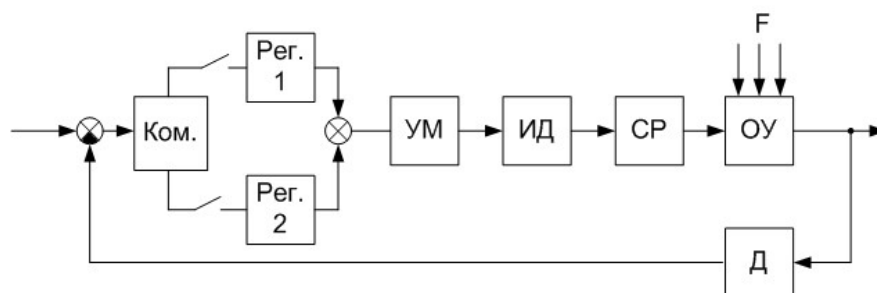


Рисунок 5 – Структурная схема усовершенствованной системы автоматизации: Рег-регулятор; УМ-усилитель мощности; ИД-исполнительный двигатель; СР-силовой редуктор; ОУ-объект управления; Д-датчик, Ком-коммутатор; F-внешние воздействия

$$x(t) = K_p \varepsilon(t) + K_i \int_0^t \varepsilon(t) dt, \quad (12)$$

где K_p – настроечный параметр П-регулятора;

K_i – настроечный параметр И-регулятора.

Передаточная функция используемого ПИ-регулятора описывается формулой

$$W_{\text{ПИ}}(s) = 1 + \frac{100}{s}. \quad (13)$$

На рисунке 6 отражена реакция системы с ПИ-регулированием на единичный скачок.

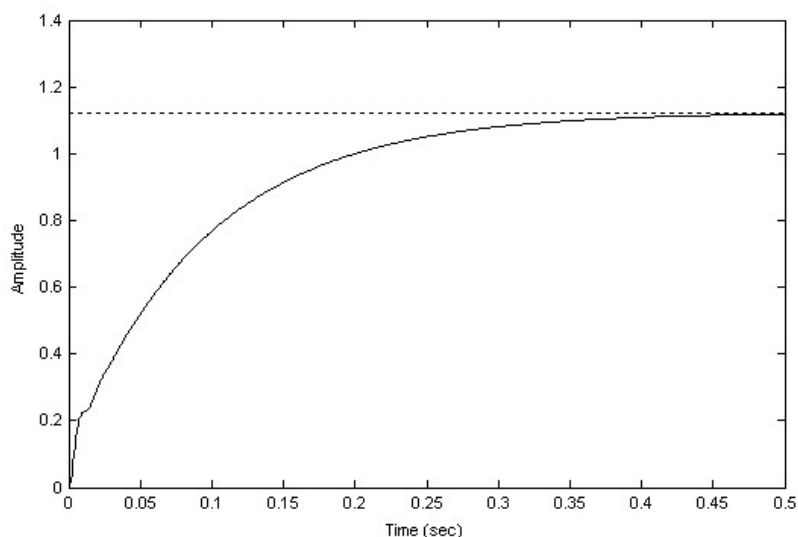


Рисунок 6 – Реакция системы с ПИ-регулированием на единичный скачок

Пользуясь пакетом Matlab-Simulink проведем анализ системы управления, запасы устойчивости и показатели качества системы (таблица).

Таблица – Результаты анализа системы управления

Характеристика системы	Контур с П-регулированием	Контур с Пи-регулированием
Перерегулирование, %	49,1	0
Время регулирования, сек	0,022	0,362
Ошибка по положению	0,215	0
Запас устойчивости по амплитуде, дБ	∞	∞
Запас устойчивости по фазе, град	44,5	155

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. -СПб.: Профессия, 2004. -752 с.

2 Кенио, Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления: пер. с англ. / Т. Кенио. -М.: Энергоатомиздат, 1987. -200 с.: ил.

3 Дроздов, И.М. Очистка деталей механизмов и машин от загрязнений гранулами сухого льда / И.М. Дроздов // Сборник трудов конференции «Проблемы современного машиностроения и автоматизации технологических процессов производства». -Омск, 2008. –Ч.3. -С. 57-59.

4 Дроздов, И.М. Анализ системы автоматического управления очисткой сложных поверхностей / И.М. Дроздов // Сборник трудов конференции «Теоретические знания в практические дела». -Омск, 2009. -Ч.2. -С. 223-226.

5 Шахов, В.Г. Анализ физических явлений, происходящих при очистке поверхностей по технологии «сухой лед» / В.Г. Шахов, С.Н. Чижма, И.М. Дроздов // Ом. науч. вестн. -Омск, 2009. -№2(80). -С. 102-104.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система автоматического управления, сухой лёд, передаточная функция, регулятор
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Дроздов Иван Михайлович, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К.Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

АППРОКСИМАЦИЯ ЗАКОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕСТРОЙКИ КОМПЕНСАТОРА ЖЁСТКОСТИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.Ю. Гросс, Е.Г. Гурова

APPROXIMATION OF THE LAW OF REGULATION OF A VOLTAGE OF LINEAR SYSTEM REORGANIZATIONS OF THE COMPENSATOR OF RIGIDITY

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.Ju. Gross, E.G. Gurova

The approximation leading the law of change of a voltage on coils of the electromagnetic rigidity compensator at changing forces of interaction between vibrating and protected objects are deduced.

Keywords: electromagnetic rigidity compensator, vibration isolation

Проведена аппроксимация закона изменения напряжения на катушках электромагнитов компенсатора жёсткости от изменения взаимного положения вибрирующего и защищаемого объектов.

В [1] показано, что напряжение на катушках электромагнитного компенсатора жёсткости при изменении взаимного положения вибрирующего и защищаемого объектов можно менять как по линейному, так и по нелинейному законам. Нелинейная зависимость изменения напряжения ΔU от изменения перемещения вибрирующего объекта относительно защищаемого Δx (рисунок)

На практике реализовать нелинейный закон, полученный в [1] довольно сложно. Желательно аппроксимировать полученную зависимость более простой. Воспользуемся методом аппроксимации, приведенным в [2].

Зависимость изменения напряжения от изменения перемещения представим в виде непрерывной функции на конечном отрезке $[a, b]$

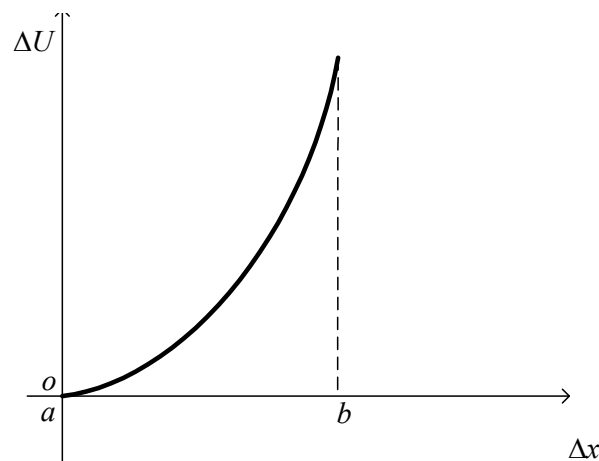


Рисунок – Зависимость изменения напряжения ΔU от изменения перемещения вибрирующего объекта относительно защищаемого Δx

$$f(x) = x^{-1}. \quad (1)$$

В уравнении (1) независимой переменной x соответствует изменение перемещения Δx из зависимости (1), а $f(x)$ соответствует изменение напряжения $\Delta U(\Delta x)$.

Данную непрерывную функцию $f(x)$ аппроксимируем на конечном отрезке $[a, b]$ с помощью обобщенного полинома

$$Q(x) = C_0 + C_1x + C_2x^2, \quad (2)$$

где C_0, C_1, C_2 – постоянные коэффициенты.

Согласно методу интегрального квадратичного аппроксимирования функции на отрезке каждую составляющую полинома (3) запишем отдельно:

$$\begin{cases} \phi_0(x) = 1; \\ \phi_1(x) = x; \\ \phi_2(x) = x^2. \end{cases} \quad (3)$$

Для нахождения минимума функции (1) необходимо определить все частные производные:

$$(f, \phi_0) = \int_a^b \frac{dx}{x} = \ln|x| \Big|_a^b + C; \quad (4)$$

$$(f, \phi_1) = \int_a^b dx = x \Big|_a^b + C; \quad (5)$$

$$(f, \phi_2) = \int_a^b x dx = \frac{x^2}{2} \Big|_a^b + C; \quad (6)$$

$$(\phi_0, \phi_0) = \int_a^b 1^2 dx = x \Big|_a^b + C; \quad (7)$$

$$(\phi_1, \phi_0) = \int_a^b x dx = \frac{x^2}{2} \Big|_a^b + C; \quad (8)$$

$$(\phi_2, \phi_0) = \int_a^b x^2 dx = \frac{x^3}{3} \Big|_a^b + C; \quad (9)$$

$$(\phi_1, \phi_2) = \int_a^b x^3 dx = \frac{x^4}{4} \Big|_a^b + C; \quad (10)$$

$$(\phi_1, \phi_1) = \int_a^b x^2 dx = \frac{x^3}{3} \Big|_a^b + C; \quad (11)$$

$$(\phi_2, \phi_2) = \int_a^b x^4 dx = \frac{x^5}{5} \Big|_a^b + C. \quad (12)$$

При помощи сокращенных выражений (4)-(12) запишем систему для определения неизвестных коэффициентов

$$\begin{cases} C_0(\phi_0, \phi_0) + C_1(\phi_1, \phi_0) + C_2(\phi_2, \phi_0) = (f, \phi_0); \\ C_0(\phi_0, \phi_1) + C_1(\phi_1, \phi_1) + C_2(\phi_2, \phi_1) = (f, \phi_1); \\ C_0(\phi_0, \phi_2) + C_1(\phi_1, \phi_2) + C_2(\phi_2, \phi_2) = (f, \phi_2). \end{cases} \quad (13)$$

Решив систему (13), можно заметить, что между переменными ΔU и Δx : имеет место приближенная квадратичная зависимость, при этом коэффициенты C_0, C_1 на два порядка меньше коэффициента C_2 , то есть коэффициентами C_0, C_1 можно пренебречь. То есть эмпирическая формула имеет вид

$$Q(x) = C_2 x^2. \quad (14)$$

График зависимости изменения напряжения от изменения перемещения, приведенный на рисунке, можно аппроксимировать с достаточной степенью точности на отрезке $[a, b]$ зависимостью (14). Полученный закон можно использовать при математическом и электронном моделировании виброизолятора и для реализации реального регулятора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гурова, Е.Г. К определению закона регулирования напряжения нелинейного электромагнитного корректора жёсткости / В.Ю. Гросс, Е.Г. Гурова // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2007. -№2. -С. 98-101.

2 Пискунов, Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление / Н.С. Пискунов; под ред. И.В. Кеппена. -М.: Физматгиз, 1963. -851 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электромагнитный компенсатор жёсткости, виброизолятор
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Гросс Владимир Юлиусович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавт»
 Гурова Елена Геннадьевна, канд. техн. наук, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «НГавт»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

ПОСТРОЕНИЕ РЕЗЕРВНЫХ ЗАЩИТ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРВОГО ЗАКОНА КИРХГОФА

«Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова»
 ГОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

М.Я. Клецель, А.С. Стинский, К.Т. Шахаев, К.И. Никитин

THE RESERVE PROTECTION FOR ELECTRICAL DELIVERY LINES BASED ON THE FIRST LAW OF KIRHGOFF

«Pavlodar state university named S. Torajgyrov»

«Omsk state technical university »

M.Ya. Klecel, A.S. Stinsky, K.T. Shakhaev, K.I. Nikitin

The method of building protection is offered. The protection is based on the control current sum and celebrity of connections. In article is offered inequality, logical functions and condition of works.

Keywords: current, dead short-circuit, reserve protection, algebra of logic, the first law of Kirhgof, square scheme

Предлагается методика построения защит, контролирующих суммы и величины токов присоединений. Представлены неравенства и логические функции, описывающие условия их срабатывания.

Уже много лет на линиях электропередач напряжением 220-750 кВ в качестве резервных защит от междофазных коротких замыканий (КЗ) используются [1, 2] дистанционная и, иногда, токовая направленная защиты, и альтернативы им пока не имеется. Для выявления направления, в котором находится точка КЗ, в них, как и в новой разработке резервной защиты [3] для межсистемных линий, определяется угол между током и междофазным напряжением. Наличие цепей напряжения ухудшает надёжность. В данной работе, для сетей, в которых можно не считаться с токами самозапуска, предлагается строить резервные защиты линий, не используя напряжение, определяя указанное направление с помощью первого закона Кирхгофа (сумма токов, подтекающих к узлу, равна сумме утекающих).

Рассмотрим такое построение на примере схемы четырёхугольника (рисунок), где генераторы электрической станции (ЭС) через трансформаторы Тр1 и Тр3 выдают мощность в системы GS1 и GS2 по линиям W1 и W2. При КЗ в точке К1 на линии W1, когда все выключатели схемы включены и система GS2 подпитывает КЗ, в соответствии с первым законом Кирхгофа

$$I_2 = I_1 + I_3 + I_4, \quad (1)$$

где I_1, I_2, I_3, I_4 – токи в соответствующих нумерации присоединениях.

Условие (1) выполняется и без КЗ в режиме передачи мощности от GS2 к GS1. Чтобы синтезируемая защита не работала в таких режимах, она должна иметь два тока срабатывания (для каждой линии):

$$I_{C31}^{W1} = 1,4 \cdot I_{H.MAKC}^{W1}; \quad I_{C32}^{W1} = 1,2 \cdot I_{ДФ}^{W1}, \quad (2)$$

где I_{C31}^{W1} – выбирается также, как в устройствах резервирования отказа выключателей, отстраиваясь от максимального тока $I_{H.MAKC}^{W1}$ нагрузки линии W1;

I_{C32}^{W1} – учитывает возможность работы двумя фазами после неуспешного однофазного автоматического повторного включения или отключения одного из выключателей с противоположной стороны W1;

$I_{ДФ}^{W1}$ – ток (наибольший из возможных в рабочих режимах системы) в каждой из двух фаз при отключенной третьей.

К тому же, необходимо контролировать ток I_{XX}^{W1} холостого хода, позволяющий выявить отключенную фазу присоединения, чтобы переключить уставку защиты с I_{C31}^{W1} на I_{C32}^{W1} . Для линии W2 условия (2) записываются точно также, но индекс W1 заменяется на соответствующий.

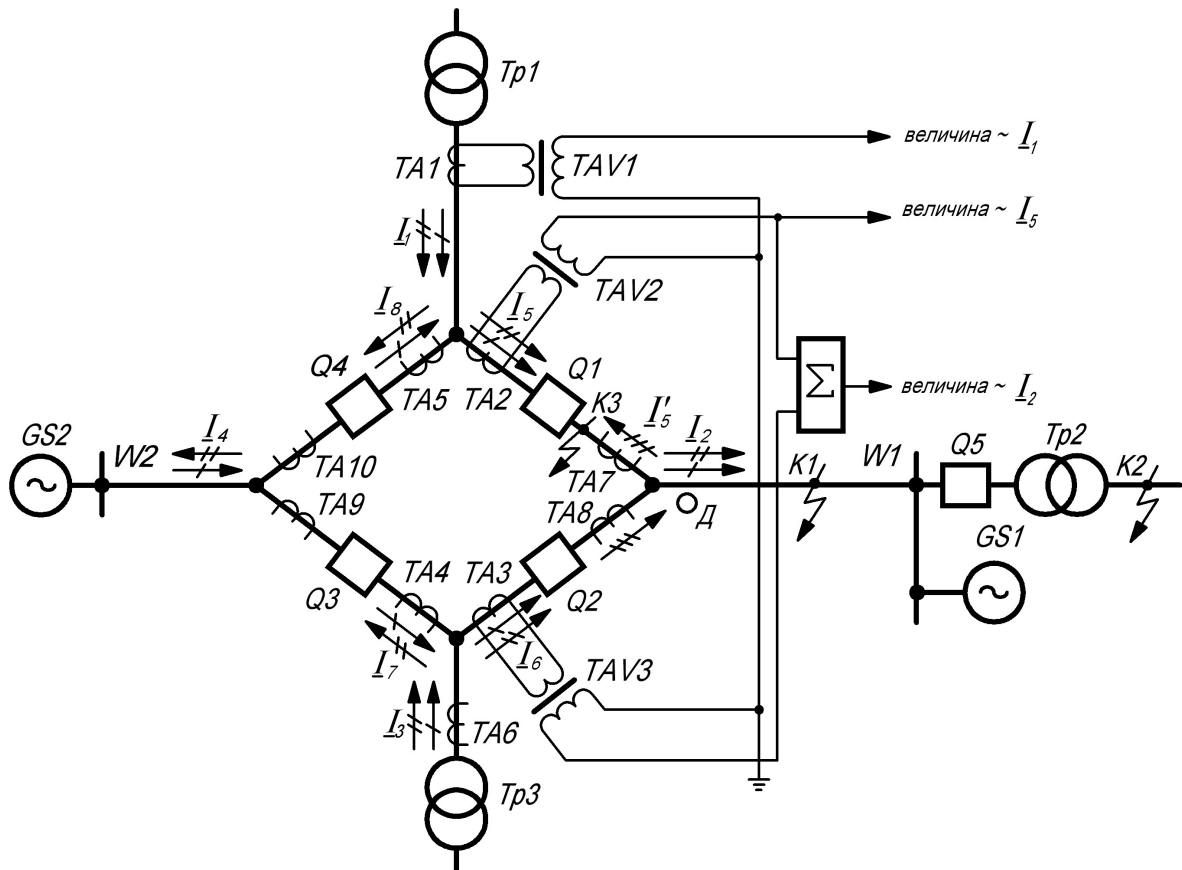


Рисунок – Схема четырёхугольника

При КЗ в точке К2 (а иногда и в К1) равенство (1) может не выполняться, если сопротивление до точки КЗ достаточно велико и система GS2 продолжает потреблять энергию, как и до КЗ. Но тогда:

- $$\begin{aligned} \text{a)} \quad & I_{C31}^{W2} < 1,4 \cdot I_{H.MAKC}^{W2} ; \\ \text{б)} \quad & I_{C31}^{W1} \geq 1,4 \cdot I_{H.MAKC}^{W1} ; \end{aligned}$$

и выполняется равенство

- B) $I_2 = I_5 + I_6$,

причём оно не выполняется при КЗ на любом из блоков ЭС. Таким образом, при наличии информации о всех рассматриваемых токах без учёта погрешностей реализующих устройств для отключения линии W1 при КЗ на ней должны выполняться условия (1) и б) или при КЗ в K2 – а) и б), и в) одновременно. В схеме рисунка любой выключатель отключается на профилактический ремонт. При этом, если отключен Q1(Q2), условия (1) и б) для выявления КЗ в K1 и а) и б) при КЗ в K2 не меняются, а в остальных нет необходимости. Если отключена линия W2 или одновременно отключены Q1(Q2) и Q3(Q4), то достаточно только условия б), но защита превращается в неселективную максимальную токовую и может сработать при КЗ в блоке генератор – трансформатор Тр3(Тр1), что допустимо, поскольку при этом выключатель Q2(Q1) блока должен отключаться быстродействующими защитами блока. Если отключен Тр1(Тр3), то необходимы условия б) и (1) без $I_1(I_3)$, или, если W2 продолжает нести нагрузку, то - условия а) и б).

Рассмотрим как обеспечить выявление КЗ на выводах выключателя Q1. Если TA7 предусмотрен, то для выявления достаточно условий б) и г) $I'_5 = I_2 + I_6$. Если TA7 отсутствует, то необходим запрет от быстродействующих защит ТрЗ, выполнение б) и д) $I_5 = I_1 + I_8$, или, если мощность при этом КЗ продолжает передаваться в систему W2, то необходимы а) и б) и запрещающий сигнал от защит ТрЗ.

Из проведённого анализа следует, что для построения защиты необходимо контролировать токи во всех ветвях и присоединениях. В ветвях это делается с помощью трансформаторов тока ТА и трансреакторов ТАР (ТАР, подключенные к ТА4, ТА5, ТА6, не показаны).

Для того, чтобы контролировать ток в присоединениях, необходимы специальные датчики, которые, в отличие от ТА, в настоящее время не устанавливаются. Это могут быть катушки индуктивности, оптические ТА или датчики Холла и другие. Преобразователи и реализующие полученные алгоритмы устройства, например [4], имеют погрешности. Из-за последних, приведённые равенства заменяются соответствующими неравенствами, представленными вторичными токами i_1, i_2, i_3, i_4

$$k_1(i_1 + i_3 + i_4) < i_2 < k_2(i_1 + i_3 + i_4); \quad (3)$$

$$k_1(i_5 + i_6) < i_2 < k_2(i_5 + i_6); \quad (4)$$

$$k_1(i_2 + i_6) < i'_5 < k_2(i_2 + i_6); \quad (5)$$

$$k_1(i_1 + i_8) < i_5 < k_2(i_1 + i_8), \quad (6)$$

где i_5, i_6, i_8 – токи в ветвях схемы ОРУ, в которых установлены выключатели Q1, Q2, Q4;

k_1, k_2 – коэффициенты, зависящие от упомянутых погрешностей.

На k_1 и k_2 наибольшее влияние оказывают погрешности ТА – ε . В некоторых случаях при близких КЗ $\varepsilon = 40-60\%$. Элементарные расчёты показывают: при допустимых $\varepsilon = 10\%$ минимальные значения $k_1 = 0,88$; $k_2 = 1,11$; при $\varepsilon = 5\%$: $k_1 = 0,94$; $k_2 = 1,07$. В первом случае ошибка в измерении суммы токов может достичь 11-12%, во втором – 6-7%. Поэтому при реализации устройств защиты следует обратить особое внимание на выбор ТА и способы уменьшения их погрешностей, а также на вопросы, связанные с получением информации о токах только с помощью упомянутых датчиков, имеющих погрешности значительно меньшие, чем у ТА. Однако, надо иметь ввиду, что погрешности измерения токов будут зависеть не только от этих датчиков, но и от целого ряда факторов, например точности установки, расстояния до соседних фаз и электроустановок и т.д.

Используя проведённый анализ и алгебру логики, опустив словесную формулировку, запишем условия срабатывания синтезируемой защиты на отключение Q1 при КЗ на его выводах, на линии W1 и в точке K2 (для случая, когда ТА7 не установлен)

$$Y_{Q1} = \left[\begin{aligned} & a_2(\overline{a_3 a_4} + a_3 \overline{a_4})(A_1 + A_2 \overline{A_4} \overline{T_1^{W2}} + A_2 A_4 \overline{T_2^{W2}}) + \\ & + \overline{a_2 a_3 a_4} b_{Tp1} (A_1 + \overline{A_4} \overline{T_1^{W2}} + A_4 \overline{T_2^{W2}}) + \overline{a_2 a_4} + \overline{T_3^{W2}} + \\ & + \overline{b_{Tp3}} (A_3 + \overline{A_4} \overline{T_1^{W2}} + A_4 \overline{T_2^{W2}}) \end{aligned} \right] \left(\overline{A_4} T_1^{W1} + A_4 T_2^{W1} \right) a_1 D_{W1}^{\uparrow}; \quad (7)$$

$$A_4 = \overline{T_3^{W1(A)}} \overline{T_3^{W1(B)}} \overline{T_3^{W1(C)}} + \overline{T_3^{W1(A)}} \overline{T_3^{W1(B)}} T_3^{W1(C)} + \overline{T_3^{W1(A)}} T_3^{W1(B)} \overline{T_3^{W1(C)}} + \dots + T_3^{W2(A)} T_3^{W2(B)} \overline{T_3^{W2(C)}},$$

где $a_1 - a_4$ ($\overline{a_1} - \overline{a_4}$) – сигналы от реле положения «включено» («отключено») выключателей Q1, Q2, Q3, Q4, которые принимают значение логической «1» («0») при их срабатывании (несрабатывании), точно также как и сигналы b_{Tp1} ($\overline{b_{Tp1}}$), b_{Tp3} ($\overline{b_{Tp3}}$) от быстродействующих защит блоков с Tr1 и Tr3;

A_1, A_2, A_3 – сигналы, принимающие значение «1» («0») при выполнении (при невыполнении) условий (1), в), д), соответственно (неравенства (3), (4), (6));

A_4 – сигнал на переключение уставки с I_{C31}^{W1} на I_{C32}^{W1} ;

$T_3^{W1(A)} (\overline{T_3^{W1(A)}})$, $T_3^{W1(B)} (\overline{T_3^{W1(B)}})$, $T_3^{W1(C)} (\overline{T_3^{W1(C)}})$, ..., $T_3^{W2(C)} (\overline{T_3^{W2(C)}})$ – сигналы от реле, отстраиваемых от тока I_{xx} (присоединений T1, W1, T3, W2), соответствующие включенному (отключенному) состоянию фаз А, В, С, которые обозначены индексами;

T_1^{W1}, T_2^{W1} – сигналы, принимающие значение «1» при превышении величины тока в линии W1 уставок по (2);

$\overline{T_1^{W2}}, \overline{T_2^{W2}}$ – инверсии аналогичных сигналов для W2;

$D_{W1}^{\uparrow}$ – оператор задержки появления сигнала на время t_{C3} , которое выбирается, как и у традиционных резервных защит.

Построение защит по рассмотренной методике для других схем ОРУ ведётся аналогично изложенному и принципиальных трудностей не встречает, как и реализация с помощью микропроцессорных терминалов. Реализация на полупроводниковых элементах, как видно из представленных формул (только для рисунка их в 4 раза больше), окажется сложнее, и

поэтому едва ли целесообразна.

Оценку чувствительности разработанных защит проведём по методике, изложенной в [5]. Она сводится к выражению минимального тока $I_{КЗ.МИН}$, на который может реагировать защита, через максимальный ток нагрузки $I_{Н.МАКС}$ при допустимом коэффициенте чувствительности $k_{\chi} = 1,2$. По определению $k_{\chi} = I_{КЗ.МИН} / I_{СЗ}$, тогда $I_{КЗ.МИН} = 1,7 \cdot I_{Н.МАКС}$. Как показано в [5], такой же $I_{КЗ.МИН}$ способна выявить максимальная токовая защита с пуском по напряжению.

Выводы. Направленность резервных защит присоединений ОРУ 220-750 кВ можно обеспечить на основе использования первого закона Кирхгофа. Это позволяет получать защиты, не использующие цепи напряжения, с чувствительностью, не уступающей максимальным токовым защита с пуском по напряжению. Для определения целесообразности применения в синтезируемых защитах нетрадиционных преобразователей тока необходимы дополнительные исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Федосеев, А.М. Основы релейной защиты / А.М. Федосеев. -М.;-Л.: Госэнергоиздат, 1961. -440 с.: ил.
 - 2 Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / В.А. Андреев. -М.: Высш. шк., 2008. -639 с.: ил.
 - 3 Клецель, М.Я. Резервная токовая направленная защита линий ОРУ 330-750 кВ / М.Я. Клецель, А.С. Стинский, К.Т. Шахаев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№2. -С. 355-358.
 - 4 Пат. 2363084 Российская Федерация, МПК Н 02 Н 7/22, Н 02 Н 3/08. Устройство централизованной резервной защиты присоединений схемы шестиугольника / Клецель М.Я., Никитин К.И., Стинский А.С., Шахаев К.Т. -опубл. 27.07.09, Бюл. №21. -4 с.: ил.
 - 5 Клецель, М.Я. Анализ чувствительности резервных защит распределительных сетей / М.Я. Клецель, К.И. Никитин // Электричество. -1992. -№2. -С. 19-23.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ток, короткое замыкание, резервная защита, алгебра логики, первый закон Кирхгофа, схема четырёхугольника
- СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Клецель Марк Яковлевич, докт. техн. наук, профессор «Павлодарский ГУ им. С.Торайгырова»
Стинский Александр Сергеевич, канд. техн. наук, преподаватель «Павлодарский ГУ им. С.Торайгырова»
Шахаев Куаныш Тулеугазыевич, аспирант «Павлодарский ГУ им. С.Торайгырова»
Никитин Константин Иванович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГТУ»
- ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64, «Павлодарский ГУ им. С.Торайгырова»
644050, г.Омск, пр.Мира, 11, ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ В РАЗЛИЧНЫЕ МОМЕНТЫ ВРЕМЕНИ РАБОТЫ

ГОУ ВПО «Челябинское высшее военное автомобильное командно-инженерное училище»

Д.В. Нефедов, Р.Р. Шарипов

CHARACTER OF CHANGE OF PRODUCTIVITY OF THE ROBOTISED MEANS OF MAINTENANCE OF MOBILITY DURING THE VARIOUS MOMENTS OF AN OPERATING TIME

«Chelyabinsk higher military automobile command-engineering school»

D.V. Nefedov, R.R. Sharipov

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: productivity, the operator, system «person-car»

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_j , 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 $C_m = \text{Const}$; $Y_j = \text{Const}$; $G_i = \text{Const}$; $M = \text{Const}$; $Z_k = \text{Const}$.

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 ($Q_{n \text{ техн}} = \text{Const}$). Скоростные режимы $Q_{n \text{ скор}}$ обеспечивают поступление информационного материала и в процессе выполнения операционного цикла выступают в качестве регулируемого параметра ($Q_{n \text{ скор}} = \text{Var}$). 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 (ощущения, 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

$$\frac{dw}{dt} = q^+(x) \cdot f(\bar{x}). \quad (2)$$

Данный вид модели основан на предположении совместного влияния отмеченных процессов.

Вид функции $q^+(x)$ определим на основе следующих предпосылок. Результат произво-

длительности 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 $A_{кр}$ 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

$$q^+(x) = k \cdot W, \quad (3)$$

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 произведение коэффициентов k, B и A через $\beta = kB$ и $\alpha = kA$, 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

$$\frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dt} = \beta \cdot \frac{1}{W} - \alpha \cdot t. \quad (8)$$

Введем функцию $Z = W^{-1}$. Тогда

$$\frac{dZ}{dt} = -\frac{1}{W^2} \cdot \frac{dW}{dt},$$

и уравнение (8) примет вид

$$\frac{dZ}{dt} + \beta \cdot Z = \alpha \cdot t. \quad (9)$$

В ходе преобразований получим неоднородное уравнение первого порядка с неизвест-

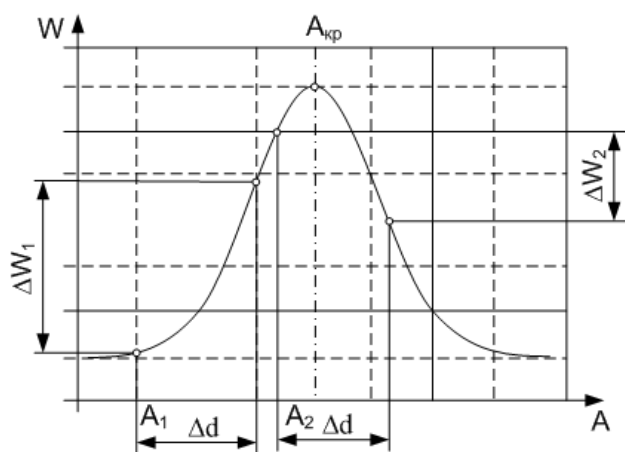


Рисунок 1 – Зависимость продуктивности деятельности от уровня активации

ной функцией Z . Проинтегрируем уравнение (9) методом вариации произвольной постоянной и найдем Z как функцию от W . Для этого решим сначала соответствующее ему однородное уравнение

$$\frac{dZ}{dt} + \beta \cdot Z = 0 \text{ или } \frac{dZ}{dt} = -\beta \cdot Z. \quad (10)$$

Разделим обе части на Z и умножим на dt , а затем проинтегрируем полученное уравнение

$$\ln Z = -\beta \cdot t + \ln C \text{ или } Z = C \cdot \exp(-\beta \cdot t). \quad (11)$$

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)

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{dC(w)}{dt} \exp(-\beta \cdot t) - \beta C(w) \exp(-\beta \cdot t), \quad (12)$$

далее подставим $\frac{dZ}{dt}$ и Z в (9)

$$\frac{dC(w)}{dt} \exp(-\beta \cdot t) - \beta C(w) \exp(-\beta \cdot t) + \beta C(w) \exp(-\beta \cdot t) = \alpha \cdot t. \quad (13)$$

После преобразования получим

$$\frac{dC(w)}{dt} \exp(-\beta \cdot t) = \alpha \cdot t. \quad (14)$$

Решение уравнения (14) позволяет получить

$$C(w) = \int \alpha t \exp(-\beta \cdot t) dt.$$

Заменив $x = \beta \cdot t$, ($dx = \beta \cdot dt$) 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 $x = \beta \cdot t$, получим

$$C(w) = \frac{\alpha}{\beta^2} [(\beta \cdot t - 1) \exp(\beta \cdot t) + C_2] + C_1. \quad (16)$$

Полученное выражение для $C(w)$ подставим в уравнение (12)

$$Z = \exp(-\beta \cdot t) \left\{ \frac{\alpha}{\beta^2} [(\beta \cdot t - 1) \exp(\beta \cdot t) + C_2] + C_1 \right\}. \quad (17)$$

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)

$$\frac{1}{W} = \exp(-\beta \cdot t) \left\{ \frac{\alpha}{\beta^2} [(\beta \cdot t - 1) \exp(\beta \cdot t) + 1] + \frac{1}{W_0} \right\}. \quad (18)$$

Путем дальнейших преобразований получим

$$W = \frac{W_0 \cdot \beta^2 \exp(\beta \cdot t)}{\alpha \cdot W_0 \cdot [(\beta \cdot t - 1) \exp(\beta \cdot t) + 1] + \beta^2}, \quad (19)$$

или с учетом принятых обозначений

$$W = \frac{W_0 \cdot k \cdot B^2 \exp(k \cdot B \cdot t)}{A \cdot W_0 \cdot [\exp(k \cdot B \cdot t) \cdot (k \cdot B \cdot t - 1) + 1] + k \cdot B^2}. \quad (20)$$

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).

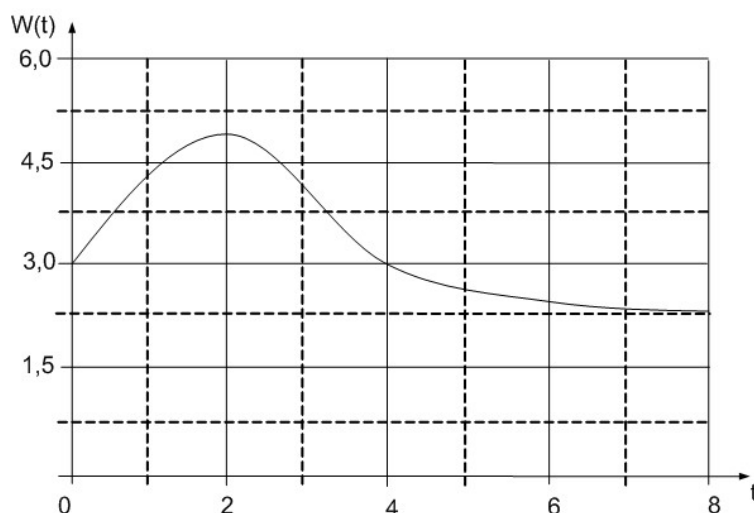


Рисунок 2 – Зависимость производительности от времени

Рассмотрим характер изменения производительности (20) в зависимости от значений коэффициентов k , A и B .

Производительность достигает наибольшего значения $W_{\max}$ при $dW/dt = 0$, что возможно при $W_{\max} \cdot t_{W_{\max}} = B/A$. 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.

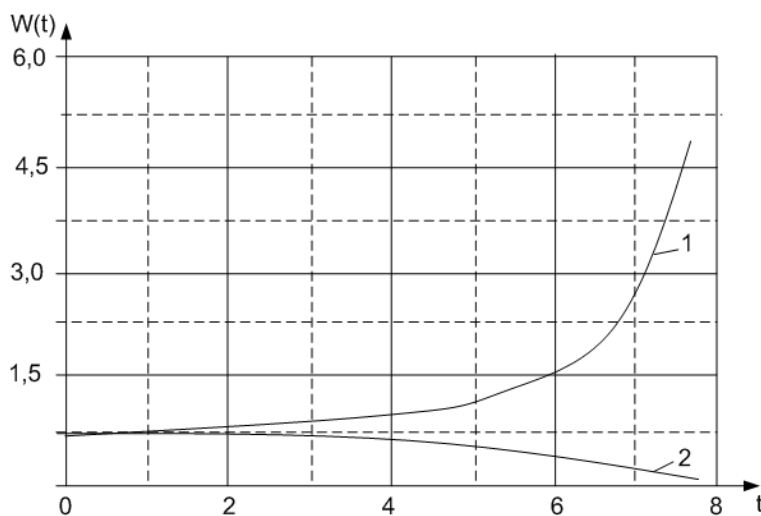


Рисунок 3 – Зависимость производительности от времени при $B = 0$, $A > 0$ и 1) $-k > 0$; 2) $-k < 0$

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 РСОП 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. Гор-

деева, А.В. Прохорова; под. ред. А.Н. Колмогорова. -М.: Наука, 1967. -408 с.

3 Кутков, Г.М. Технологические основы и тяговая динамика мобильных энергетических средств / Г.М. Кутков. -М.: МГАУ, 1992. -154 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: производительность, оператор, система «человек-машина»

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Нефедов Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

Шарипов Руслан Раисович, аспирант ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 454029, г. Челябинск, пр. Победы, 187, ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННОГО ПОДВИЖНОГО МОДУЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ

ГОУ ВПО «Челябинское высшее военное автомобильное командно-инженерное училище»

Д.В. Нефедов, Р.Р. Шарипов

CONTROL SYSTEM OF MOVEMENT OF THE ROBOTIZED MOBILE MODULE WITH USE OF CAPACITOR STORES

«Chelyabinsk higher military automobile command-engineering school»

D.V. Nefedov, R.R. Sharipov

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. The example of mathematical modeling of work of the traction engine with offered system on various modes of movement of the robotised mobile module is resulted.

Keywords: control system, the capacitor store, the traction engine

Предложена схема автоматической системы управления тяговым двигателем роботизированного подвижного модуля при использовании емкостного накопителя энергии. Приведен пример математического моделирования работы тягового двигателя с предлагаемой системой на различных режимах движения роботизированного подвижного модуля.

Эффективность применения емкостного накопителя с тяговым двигателем (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.

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 режимах работы систем, агрегатов модуля, исполнительные элементы, обеспечивает запуск дви-

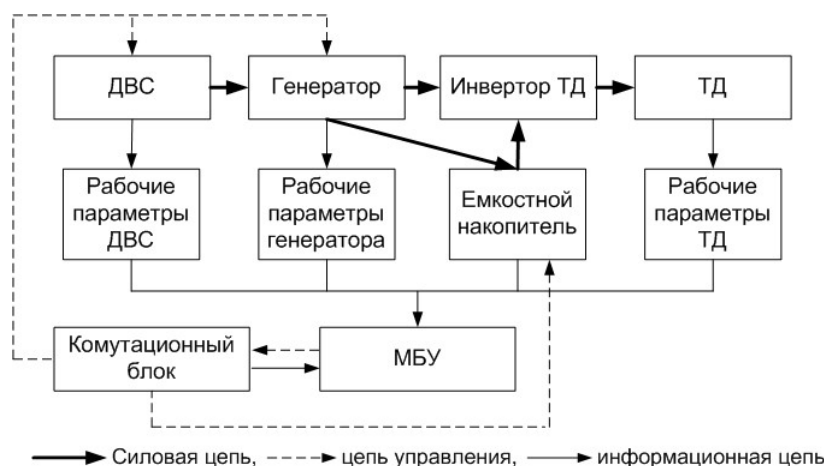


Рисунок 1 – Принципиальная схема системы управления движением РПМ

гателя 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_e генератора обеспечивая улучшение тягово-динамических свойств РПМ

$$I_e = I_{эд} + I_{ен}, \quad (1)$$

где $I_{эд}$ – ток нагрузки ТД;

$I_{ен}$ – ток емкостного накопителя.

При этом подводимая к ТД мощность равна сумме мощностей, развиваемых генератором P_e и емкостным накопителем $P_{ен}$

$$P_{эд} = P_e + P_{ен}. \quad (2)$$

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 (2) относительно момента $M_{эд}$, получим

$$M_{эд} = \frac{r_{ек}}{i_{ред} \cdot \eta_{ред}} \left(m \frac{dv}{dt} + f_c G_m \right). \quad (4)$$

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

$$I_{эд} = \frac{r_{ек}}{i_{ред} \cdot \eta_{ред} \cdot c_m \cdot \Phi} \left(m \frac{dv}{dt} - f_c G_m \right). \quad (6)$$

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 $\frac{dv}{dt} > 0$ определяется выражением (2) или с учетом формул изложенных в модели [2]

$$P_g = \frac{r_{ек} \cdot U_{эд}}{i_{ред} \cdot \eta_{ред} \cdot c_m \cdot \Phi} \left(m \frac{dv}{dt} + f_c G_m \right) - \frac{U^2}{(R_{ц} + R_{ен})} \exp \left[-\frac{2t_p}{C_{ен}(R_{ц} + R_{ен})} \right], \quad (7)$$

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 $\frac{dv}{dt} < 0$ 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

$$P_g = \frac{U^2}{(R_{ц} + R_{ен})} \exp \left[-\frac{t_T}{C_{ен}(R_{ц} + R_{ен})} \right] \left(1 - \exp \left[-\frac{t_T}{C_{ен}(R_{ц} + R_{ен})} \right] \right) - \left(\frac{C_E \cdot \Phi \cdot v \cdot i_{ред}}{2\pi \cdot r_{ек}} - U_{\partial} \right) \frac{U_{\partial}}{R_a}, \quad (8)$$

где t_T – время торможения модуля;

C_E – коэффициент пропорциональности, постоянный для данной электрической машины.

В случае равномерного движения, когда $\frac{dv}{dt} = 0$, и работе генератора с ТД на частичных характеристиках (при движении РПМ с неполной нагрузкой на генератор) питание электроприводов и заряд накопителей осуществляется от генератора

$$P_g = \frac{r_{ек} \cdot U_{эд}}{i_{ред} \cdot \eta_{ред} \cdot c_m \cdot \Phi} \cdot f_c G_m + \frac{U^2}{(R_{ц} + R_{ен})} \exp \left[-\frac{t_3}{C_{ен}(R_{ц} + R_{ен})} \right] \left(1 - \exp \left[-\frac{t_3}{C_{ен}(R_{ц} + R_{ен})} \right] \right), \quad (9)$$

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 Нестеров, П.В. Микропроцессоры. В 3 т. Т.1 / П.В. Нестеров, В.Ф. Шельгин. -М.: Высш. шк., 1986. -368 с.

2 Нефедов, Д.В. Роботизированные средства подвижности вооружения, эффективность функционирования: монография / Д.В. Нефедов. -Челябинск: ЧВВАКИУ, 2009. -215 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система управления, емкостный накопитель, тяговый двигатель

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Нефедов Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

Шарилов Руслан Раисович, аспирант ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 454029, г. Челябинск, пр. Победы, 187, ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСА ЭЛЕКТРОЩЁТОК ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

ГОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет»

Ю.А. Рылов, Е.Л. Степанов, О.А. Филина

RESEARCH RESOURCES ELECTROBRUSHES OF TRACTION ELECTRICAL MACHINE

«Kazan state power engineering university»

Yu.A. Rulov, E.L. Stepanov, O.A. Filina

The problem of raising resources by using new design electrobrushes. This constructive solution is consistent with the specific types of traction motors used in urban and rail transport and satisfies the technical conditions for their operation.

Keywords: electrobrushes, the voltage drop on a pair of electrobrushes, resource, collector-brush unit

Рассматривается задача повышения ресурса путём использования новой конструкции электрощёток. Данное конструктивное решение хорошо согласуется с конкретными типами тяговых электродвигателей (ТЭД), применяемых на городском и железнодорожном транспорте и удовлетворяет техническим условиям (ТУ) на их эксплуатацию.

Рассматривается задача повышения ресурса путём использования новой конструкции электрощёток. Данное конструктивное решение хорошо согласуется с конкретными типами тяговых электродвигателей (ТЭД), применяемых на городском и железнодорожном транспорте и удовлетворяет техническим условиям (ТУ) на их эксплуатацию.

Проблема увеличения ресурса работы коллекторно-щёточного узла (КЩУ) наиболее остро стоит применительно к ТЭД, уровень загрузки которого в ряде случаев составляет круглосуточная работа. Ресурс электрощёток в электродвигателях для городского электротранспорта и локомотивов, как правило, рассчитан на пробег между текущими ремонтами (ТР). Для повышения ресурса КЩУ разрабатываются совершенные марки электрощёток, с повышенной надёжностью, износостойчивостью и коммутационной способностью [1-4].

В данной статье изложен один из возможных путей решения поставленной задачи, посредством применения составных электрощёток для ТЭД для городского электротранспорта и локомотивов, за счёт использования повторно неизнашиваемой верхней части щеток.

Рекомендуемая составная разрезная щётка [5] выполнена составной и введена замковая часть и поперечный разрез, в отличие от существующих электрощёток (или неразрезные, или продольно разрезные). При этом конструкция КЩУ электрической машины остаётся неизменной.

В случае применения серийных щеток (рисунок 1а), изношенная угольно-графитовая часть не восстанавливается, а подлежат замене и утилизации совместно с дорогостоящими элементами всей конструкции щетки.

Предлагаемая конструкция (рисунок 1в) позволяет использовать верхнюю (неизнашиваемую) часть электрощётки неоднократно, что в свою очередь позволяет существенно снизить эксплуатационные затраты электрических машин и исключить утилизацию неизношен-

ных частей. Это связано с тем, что при износе сменной вставки не требуется полной замены щетки. Достаточно только установить новую сменную вставку. Весь процесс замены сменной вставки значительно облегчает работу обслуживающего персонала, и сокращает время профилактических работ до 70%.

Составная электрощетка (рисунок 1б) с повышенным ресурсом функционально не отличается от серийной по типоразмеру, технологии изготовления и эксплуатации. Основное отличие заключается в конструкции тела щетки.

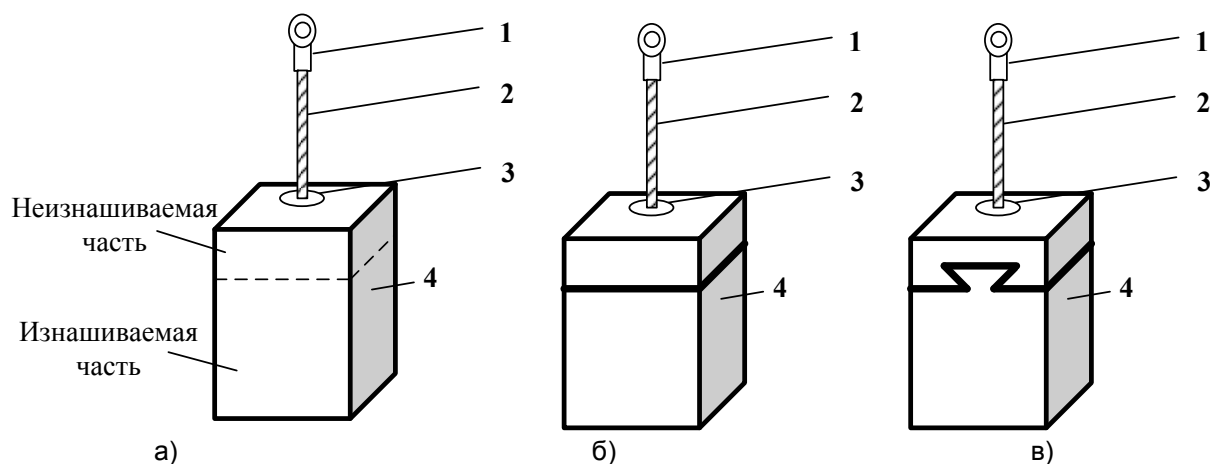


Рисунок 1 – Конструкции электрощеток: а)-серийная (неразрезная); б)-составная (разрезная); в)-составная с замковой частью (1-наконечник луженый; 2-медный провод гибкий неизолированный плетёный; 3-материалы для соединения токоведущего провода с телом щетки (конопатка, электропроводящий клей, медный порошок); 4-угольно-графитовая часть)

Предложенная конструкция, как показывают расчёты также обеспечивает хорошую ремонтпригодность. Ориентировочно, стоимость неизношенных остатков составляет около 60% (на 01.01.2008 г. по Кудиновскому заводу «Электроугли» г. Электроугли для электрощёток ЭГ-61А в расчете на 1000 шт. стоимость неизношенных частей составляет – 34045 руб. от общей стоимости электрощетки 52250 руб.).

Составные разрезные щётки обеспечивают надёжный электрический контакт с вращающимися частями электрических машин и не вызывают нарушения этого контакта, как показали лабораторные измерения, проведённые на кафедре «Электромеханика энергетических систем и силового оборудования» Казанского государственного энергетического университета.

Коллекторные свойства составных разрезных электрощеток были проверены на установке с короткозамкнутым коллектором типа КЗК-95 на Кудиновском заводе «Электроугли» г. Электроугли, согласно ГОСТ Р51667-2000. Испытанию были подвергнуты образцы электрощёток марки ЭГ-61А, ЭГ-841, ЭГ-14.

Испытания включали в себя проверку коллекторных характеристик, куда входили: измерение величины общего падения напряжения на паре щеток ($2\Delta U$), износ и коэффициент трения.

Результаты испытаний (неразрезной) серийной и составной разрезной электрощётки были занесены в протокол и на его основании построены зависимости падения напряжения на пару щёток $2\Delta U$ (усреднённые) от времени испытания, показанные на рисунке 2.

Как видно из анализа, падения напряжения на пару щёток $2\Delta U$, в начале и конце измерений для серийных щеток характерно увеличение падения напряжения (рисунок 2а), что можно объяснить ростом температуры КЩУ. Для составных разрезных щёток характерно уменьшение падения напряжения на 0,2-0,3 В после завершения испытаний, что можно объяснить приработкой контактных поверхностей в разрезе тела щётки.

Проведённые экспериментальные исследования на других образцах щёток, выполненных с использованием данной методики, показали, что, не смотря на относительное увеличение падения напряжения на пару щёток $2\Delta U$, их можно использовать в условиях эксплуатации независимо от типа электрической машины и условий ее эксплуатации. Испытаниями также выявлено, что остальные параметры коллекторных характеристик составных электрощеток с повышенным ресурсом находятся в пределах нормы, определяемых ТУ.

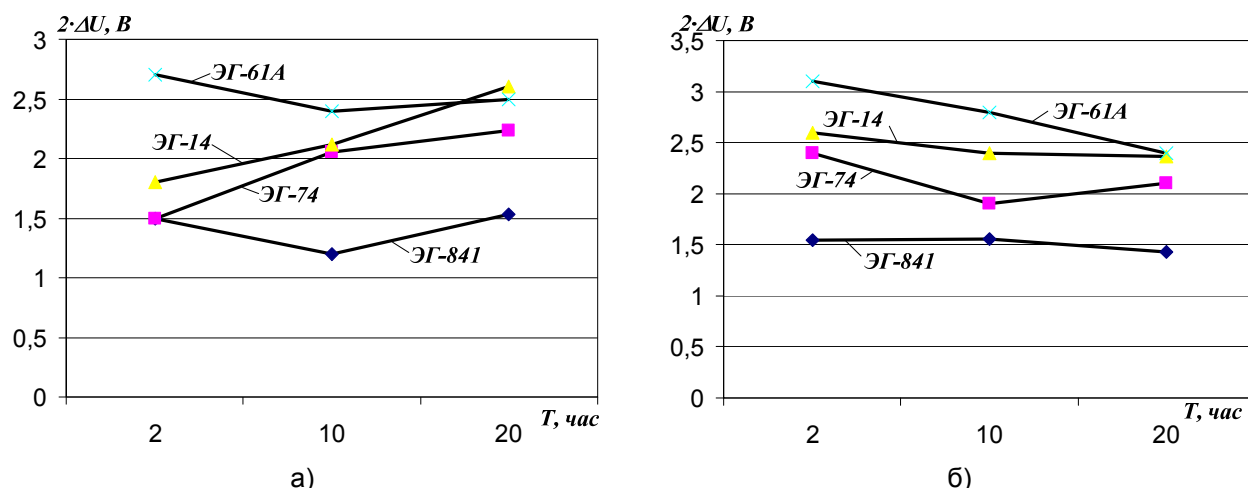


Рисунок 2 – Результаты испытаний серийной и составной разрезной электрощётки: а)-серийная (неразрезная); б)-составная разрезная

Следующий этап проведения эксперимента заключался в обработке полученных статистических данных. На основании их были построены гистограммы распределение переходного падения напряжения на пару щеток $2\Delta U$. Для составных разрезных электрощёток типа ЭГ-841 гистограмма распределения представлена на рисунке 3, аналогичные гистограммы получены и для других типов щеток.

Выводы:

1 Результаты статистического анализа распределения величины переходного падения напряжения на пару щеток показали, что данная величина распределена по нормальному закону распределения как для неразрезных, так и для составных разрезных щеток. Кроме того, математическое ожидание значения падения напряжения на пару щёток $2\Delta U$ для разрезных щеток в среднем на 6-10% больше чем для неразрезных, но это не превышает требований ТУ.

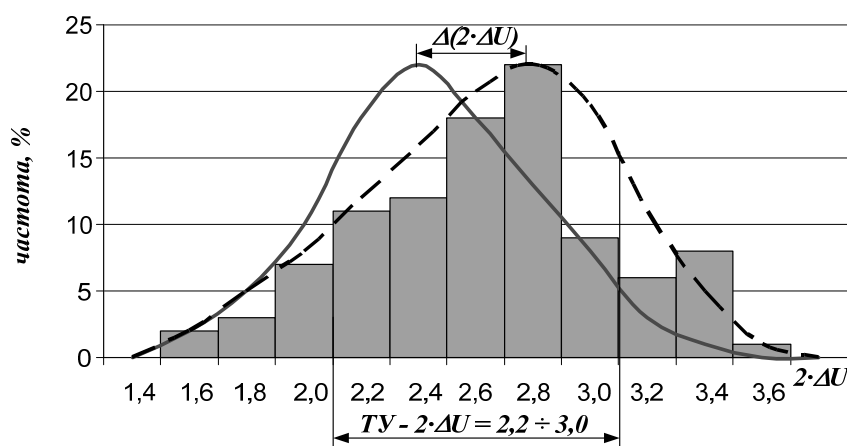


Рисунок 3 – Гистограмма распределения частоты от падения напряжения на пару щеток

2 Большое значение дисперсии величины падения напряжения на пару щеток для электрощетки типа ЭГ-61А указывает на нестабильность её характеристик, что подтверждает неоднократные упоминания об этом в литературе.

3 Исследования зависимости величины падения напряжения на пару щеток $2\Delta U$ от времени показали, что для серийных щеток характерно увеличения $2\Delta U$, что связано с ростом температуры, а для составных разрезных – уменьшения падения $2\Delta U$ из-за приработки поверхности контакта частей составных разрезной щетки. В связи с этим необходимо обеспечивать поверхность соприкосновения частей составных щеток не менее 90% контактной поверхности в поперечном разрезе тела щетки.

4 Полученные положительные результаты, выполненных исследований на установке КЗК-95, позволяют рекомендовать проведение эксплуатационных испытаний предложенного конструктивного решения составных щёток с поперечным разрезом на электроподвижном составе.

5 Применение составных щеток существенно сокращаются расходы на эксплуатацию электрических машин в различных отраслях промышленности, за счёт экономии на отходах, возникающих при эксплуатации серийных электрощёток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Экономически выгодный щёточный контакт / Г.М. Коршунов, В.А. Дербенёв, В.П. Степанов, И.К. Бороха // Локомотив. -2006. -№12. -С. 30-31.

2 Дербенёв, В.А. Некоторые аспекты разработки новых конструктивных исполнений щеток электрических машин / В.А. Дербенёв, В.П. Степанов, И.К. Бороха // Электротехника. - 2002. -№8. -С. 55-58.

3 Пат. 2274935 Российская Федерация, МПК Н 01 R 39/18. Щётка для электрической машины / Коршунов Г.М., Дербенёв В.А., Смазлов П.П., Степанов В.П., Бороха И.К., Сизов Б.В. -Опубл. 20.04.06, Бюл. №11.

4 Пат. 51792 Российская Федерация, МПК Н 01 R 39/40. Щёточный узел электрической машины / Идиятуллин Р.Г. -Опубл. 27.02.06, Бюл. №6.

5 Пат. 2365005 Российская Федерация, МПК Н 01 R 39/18. Составная разъёмная щётка с замковой частью / Степанов Е.Л. -Опубл. 20.08.09, Бюл. №23.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электрощётка, падение напряжения на паре щёток, ресурс, коллекторно-щеточный узел

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Рылов Юрий Анатольевич, канд. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Казанский ГЭУ»

Степанов Евгений Леонидович, аспирант ГОУ ВПО «Казанский ГЭУ»

Филина Ольга Алексеевна, ассистент ГОУ ВПО «Казанский ГЭУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 420078, г. Казань, ул. Красносельская, 53, ГОУ ВПО «Казанский ГЭУ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МНОГОПУЛЬСНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

**ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический
университет»**

М.Е. Вильбергер, О.Л. Волкова, Е.В. Олейникова, А.А. Степанов

EXPERIMENTAL OPERATING MODES RESEARCHES OF MULTI-PULSE RECTIFIERS

«Novosibirsk state technical university»

M.E. Vilberger, O.L. Volkova, E.V. Oleynikova, A.A. Stepanov

In article results of experimental researches of work multypulse rectifiers orthogonal system of voltage are presented at asymmetry and unsinusoidal voltage of a three-phase network and the comparative estimation of the received results with the settlement data on the mathematical model developed by author is spent.

Keywords: rectifiers, quality, multypulse, three-phase, asymmetry, unsinusoidal, orthogonal

Представлены результаты экспериментальных исследований работы многопульсных выпрямителей напряжений двухфазной ортогональной системы питания при несимметрии и несинусоидальности напряжений питающей трехфазной сети и проведена сравнительная оценка полученных результатов с расчетными данными по разработанной авторами математической модели.

В настоящее время все актуальнее становится проблема энергосбережения во всех отраслях промышленности и на электрическом транспорте. В связи с этим возникают задачи обеспечения качества электроэнергии и электромагнитной совместимости работы различных выпрямительных устройств с питающей сетью.

Поэтому важным является решение вопроса о качестве выпрямленного напряжения и исследование влияния на него различного рода внешних возмущений. В этой связи представляет интерес исследование работы многопульсных выпрямителей при несимметрии и несинусоидальности напряжений питающей сети.

В соответствии с теоретическими положениями [1-3], составлены математические модели, на основе которых созданы программы на ЭВМ и решены следующие задачи: спроектирована схема двенадцатипульсного выпрямителя; создана экспериментальная установка мощностью 1500 ВА.

Для постановки физических экспериментов, в соответствии с результатами проектирования схем выпрямителей, была разработана, изготовлена и испытана модель двенадцатипульсного выпрямителя, собранного на трехфазном многообмоточном трансформаторе, монтажная схема которого представлена на рисунке 1. Эксперименты включали измерения и регистрацию величин и форм кривых токов и напряжений на входе и выходе преобразователя.

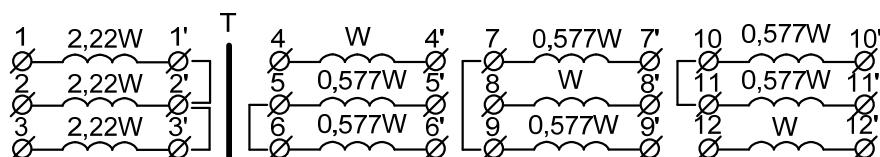


Рисунок 1 – Монтажная схема трехфазного многообмоточного трансформатора (1-3 и 1'-3' - клеммы первичных сетевых обмоток; 4-12 и 4'-12' - клеммы вторичных обмоток)

На рисунке 2 представлен внешний вид экспериментальной установки двенадцатипульсного выпрямителя с ортогональной системой напряжений. На момент проведения экспериментальных исследований, действующие значения напряжений питающей сети имели следующие величины:

$$U_{AB} = 219,5 \text{ В}; U_{CA} = 220,0 \text{ В}; U_{BC} = 220,0 \text{ В}.$$

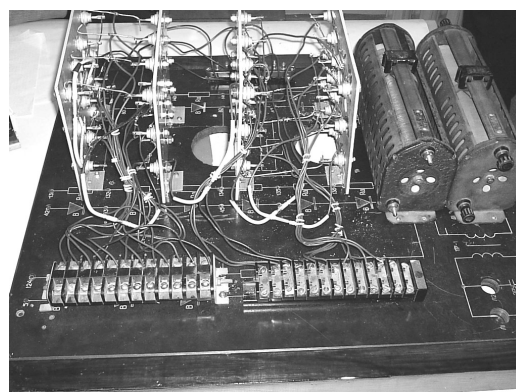
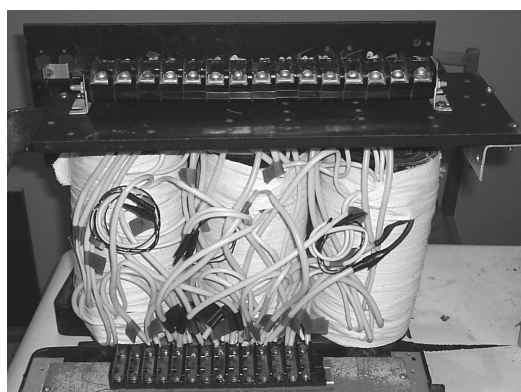


Рисунок 2 – Экспериментальная установка 12-пульсного выпрямителя

На цифровом осциллографе получены формы напряжений питающей сети, проведен их гармонический анализ, в результате чего получен спектр гармоник, коэффициенты которых сведены в таблице.

Таблица – Гармонический состав напряжений питающей сети

Номер гармоники	1	3	4	5	7	8	9	11	13	14	15	16	18	19	22
$K_{U(n)}, \%$	100	0,4	0,1	2,1	0,6	0,2	0,2	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1

Одновременно с измерениями напряжений питающей сети, было проведено измерение выпрямленного напряжения на выходе выпрямителя в режиме холостого хода. Форма выпрямленного напряжения представлена на рисунке 3.

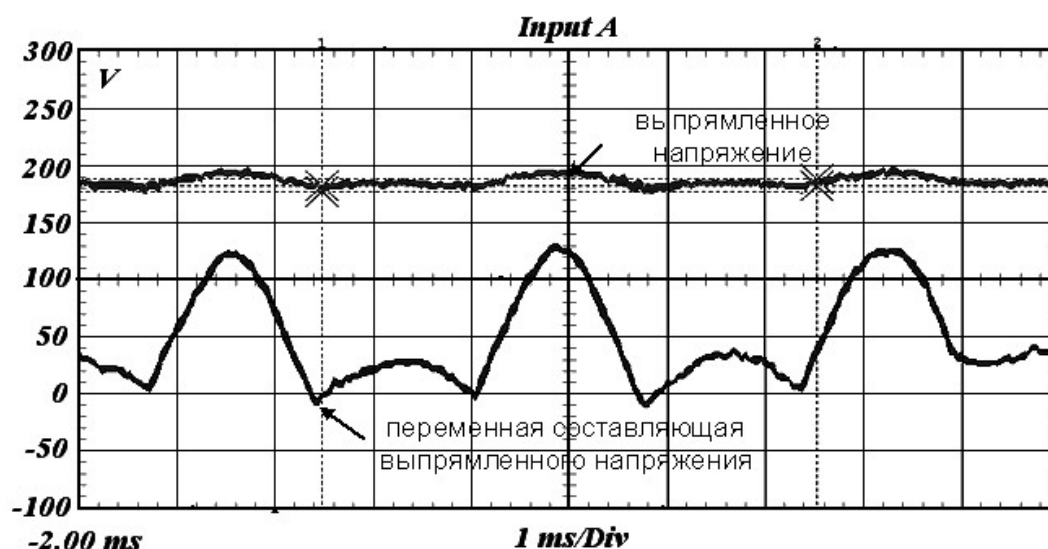


Рисунок 3 – Осциллограмма выпрямленного напряжения двенадцатипульсного выпрямителя

При подстановке измеренных величин гармонических составляющих питающего напряжения в математическую модель [4] и задании несимметрии трехфазной системы напряжений, рассчитанной по замерам, получили форму выпрямленного напряжения выпрямителя по математической модели (рисунок 4).

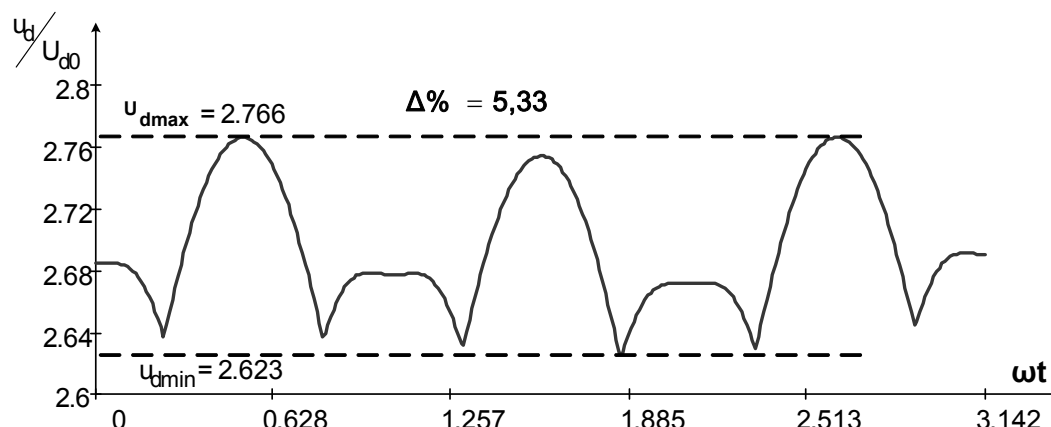


Рисунок 4 – Выпрямленное расчетное напряжение двенадцатипульсного выпрямителя

По экспериментальной кривой (см. рисунок 3) максимальное значение выпрямленного напряжения составляет 7,0 В, минимальное -4,8 В, а средневыврямленное напряжение – 199,7 В. В соответствии с полученными данными, размах пульсаций определяется [4]:

$$\Delta\%_{\text{экспер.}} = \frac{6,2 + 4,8}{199,7} \cdot 100\% = 5,5\%.$$

При расчете по математической модели размах пульсаций выпрямленного напряжения составил 5,33%. Формы напряжений на выходе преобразователя, полученные теоретически и экспериментальным путем имеют хорошую сходимость в пределах 5%. Это говорит о том, что результаты, полученные при работе с математической моделью, позволяют давать адекватную оценку качества выпрямления.

Таким образом, доказано, что определение форм выпрямленного напряжения по предложенной математической модели позволяет делать выводы о его качестве с достаточно близким (в пределах 5%) совпадением с экспериментальными данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Новые выпрямители на базе ортогональных систем напряжений / Г.Н. Ворфоломеев, С.А. Евдокимов, Т.А. Рукосуева, М.Е. Вильбергер // Электротехника, электромеханика и электротехнологии: ЭЭЭ-2005: материалы второй науч.-техн. конф. с междунар. участием, Новосибирск, Россия, 25-26 окт. 2005 г. / НГТУ. -Новосибирск, 2005. -С. 133-136.

2 Установленные мощности трансформаторов выпрямителей серии «С» / Г.Н. Ворфоломеев, С.А. Евдокимов, Т.А. Рукосуева, М.Е. Вильбергер, Е.А. Спиридонов // Электротехника, электромеханика и электротехнологии: ЭЭЭ-2005: материалы второй науч.-техн. конф. с междунар. участием, Новосибирск, Россия, 25-26 окт. 2005 г. / НГТУ. -Новосибирск, 2005. -С. 141-144.

3 Теоретические основы многопульсных выпрямителей с ортогональными системами напряжений / М.Е. Вильбергер, С.А. Евдокимов, Г.Н. Ворфоломеев, В.И. Сопов, Н.И. Щуров // Электричество. -2007. -№6. -С. 18-23.

4 Вильбергер, М.Е. Математическая модель многопульсовых выпрямителей для тяговых подстанций электрического транспорта / М.Е. Вильбергер, Г.Н. Ворфоломеев, С.А. Евдокимов // Трансп.: наука, техника, упр. -2008. -№6. -С. 40-43.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: выпрямитель, качество, многопульсный, трехфазный, несимметрия, несинусоидальность, ортогональная

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Вильбергер Михаил Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

Волкова Ольга Леонидовна, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»

Олейникова Елена Владимировна, магистрант ГОУ ВПО «НГТУ»

Степанов Александр Андреевич, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОЛЛЕКТОРНО-ЩЕТОЧНОГО УЗЛА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Н.И. Щуров, Е.Л. Степанов, М.Е. Вильбергер, С.В. Мятаж, Б.В. Малоземов

INVESTIGATION OF THE COLLECTOR-BRUSH ASSEMBLY TRACTION MOTORS ON MATHEMATICAL MODELS

«Novosibirsk state technical university»

N.I. Schurov, E.L. Stepanov, M.E. Vilberger, S.V. Myatege, B.V. Malozyomov

A method for the study of interactions parts transversely cut in carbon brushes of the collector-brush assembly traction motors on mathematical models. Proved that the roughness of the reservoir under different regulatory requirements remains a reliable contact between the separate parts of brushes of the collector-brush assembly.

Keywords: electrobrushes, the voltage drop on a pair of electrobrushes, resource, collector-brush unit

Приведена методика исследования взаимодействий частей поперечно разрезанных графитовых щеток коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей на математических моделях. Доказано, что при различных неровностях коллектора согласно нормативных требований сохраняется надежный контакт между отдельными частями щетки коллекторно-щеточного узла.

Одним из основных и ответственных узлов тяговых электрических двигателей, требующих систематического обслуживания является коллекторно-щеточный узел (КЩУ). Графитовые щетки являются, по сути, расходным материалом, поскольку подвержены износу и согласно правилам ремонта подлежат периодической замене [1]. При этом вместе с частично выработавшей ресурс щеткой утилизируются дорогостоящие сопутствующие элементы, содержащие цветные металлы. Одним из способов снижения расходов при периодической замене изношенных щеток является применение поперечно разрезных (составных) щеток [2, 3], сохраняющих наиболее ценную часть щетки.

В работе ставится задача изучения с помощью математического моделирования взаимодействия изнашиваемых составных частей щеток при возможных биениях коллектора тягового двигателя вследствие неровности его профиля, которое может негативно отразиться на гальваническом контакте между отдельными частями поперечно разрезанной щетки.

Для решения поставленной задачи необходимо составить математическую модель, приняв кинематическую схему механических взаимодействий элементов КЩУ, приведенную на рисунке 1.

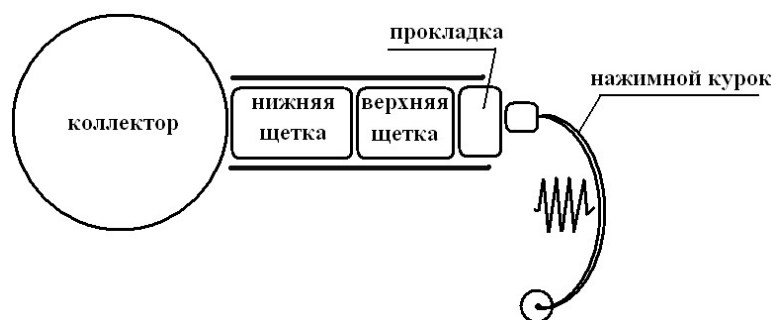


Рисунок 1 – Упрощенный эскиз кинематической схемы

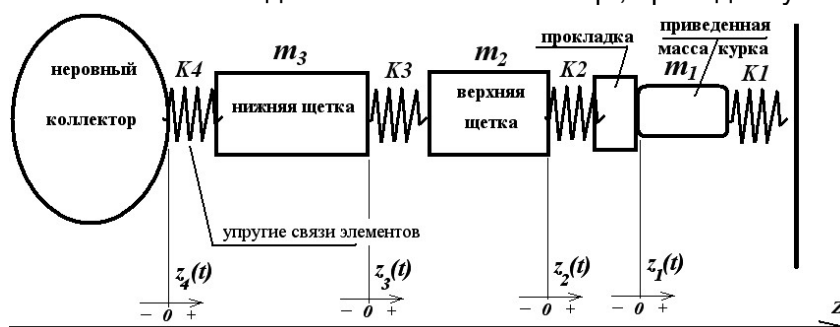


Рисунок 2 – Расчетная эквивалентная кинематическая схема

Для перехода к математической модели составлена адаптированная расчетная эквивалентная кинематическая схема, содержащая набор элементов, взаимодействующих посредством имеющих упругих связей и учитывающая возможные неровности профиля коллектора, которая показана на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, получена многомассовая система с упругими связями, механические взаимодействия отдельных частей которой описываются, как известно, системой из дифференциальных уравнений [4], порядок системы определяется количеством масс элементов системы и числом их

упругих связей. Так, для моделирования упругих взаимодействий элементов по приведенной на рисунке 2 кинематической схеме потребуется составить и решить систему из дифференциальных уравнений (ДУ) с общим порядком, равным шести.

Решение таких систем ДУ на практике встречает трудности. Определенную помощь в исследованиях при этом могут оказать современные системы компьютерной математики [5], которые и использовались для решения математических моделей (ММ) в настоящей работе.

В соответствии с известными законами классической механики и расчетной эквивалентной кинематической схемой составлена ММ в общем виде из трех ДУ второго порядка

$$\begin{aligned} m_1 \frac{d^2 z_1(t)}{dt^2} + K_1 z_1(t) - K_2 [z_2(t) - z_1(t)] &= 0; \\ m_2 \frac{d^2 z_2(t)}{dt^2} + K_2 [z_2(t) - z_1(t)] - K_3 [z_3(t) - z_2(t)] &= 0; \\ m_3 \frac{d^2 z_3(t)}{dt^2} + K_3 [z_3(t) - z_2(t)] - K_4 [z_4(t) - z_3(t)] &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

и нулевых начальных условий

$$z_1(t=0) = 0; z_2(t=0) = 0; z_3(t=0) = 0; \frac{dz_1(t)}{dt} = 0; \frac{dz_2(t)}{dt} = 0; \frac{dz_3(t)}{dt} = 0. \quad (2)$$

В качестве исходной информации, формирующей конкретные свойства ММ, приняты механические параметры элементов кинематической схемы, соответствующие свойствам материалов КЩУ с использованием щетки марки ЭГ-14, сведенные в таблицу.

Таблица – Механические параметры элементов кинематической схемы

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Численное значение
Жесткость пружины нажимного курка	K_1	кг/см	0,2
Жесткость прокладки	K_2	кг/см	35
Жесткость графитовых частей с учетом геометрии разрезанной щетки	K_3	кг/см	220000
Жесткость взаимодействия пары щетка-коллектор	K_4	кг/см	170000
Приведенная масса нажимного курка	m_1	кг	0,13
Масса верхней (внешней) части разрезанной щетки	m_2	кг	0,057
Масса нижней (внутренней) части разрезанной щетки	m_3	кг	0,051
Задаваемая функция неровностей профиля коллектора	$z_4(t)$	см	<0,01

Ответ на вопрос о сохранении гальванического контакта между отдельными частями разрезанной щетки может быть получен путем решения составленной ММ относительно неизвестных переменных $z_2(t)$ и $z_4(t)$, характеризующих перемещения частей щетки.

При этом разность

$$z_2(t) - z_3(t) > 0, \quad (3)$$

полученная в ходе решения, будет свидетельствовать о нарушении контакта между частями щетки.

Для решения составленной ММ в работе был использован пакет Maple как наиболее подходящий для решения как численными методами, так и аналитически сложных ММ, содержащих системы ДУ.

Неровности профиля коллектора [6] в исследовании задавались в виде:

– синусоидальной функции вида $z_4(t) = A \cdot \sin(\omega t)$ как наиболее жесткого условия для взаимодействия частей щетка-коллектор согласно [7], при этом максимальное значение амплитуды принималось $A = 0,1$ мм;

– полигармонической функции, взятой по экспериментальным профилограммам (рисунок 3), для приближения параметров ММ к реальному объекту

С помощью ММ исследовалось влияние различных неровностей профиля коллектора при различных его частотах вращения от 0 до 1000 мин⁻¹. Результаты получены численными методами решения и представляют собой графики колебаний $z_2(t)$, $z_3(t)$ как самих частей

щеток, так и их относительных перемещений $z_2(t) - z_3(t)$ (рисунок 4 и 5).

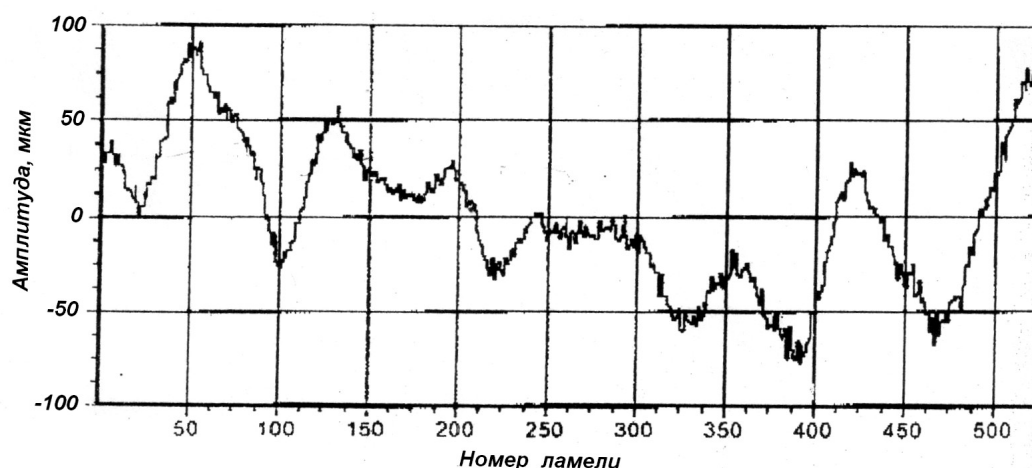


Рисунок 3 – Профиль коллектора тягового электродвигателя ТЛ2-К №6429

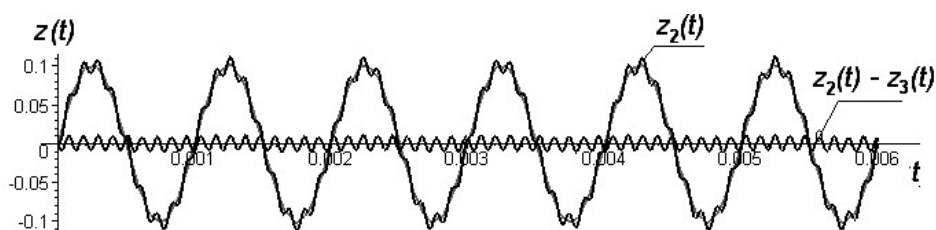


Рисунок 4 – Пример графиков перемещений частей щетки при синусоидальной неровности профиля коллектора, вращающегося со скоростью 1000 мин^{-1}

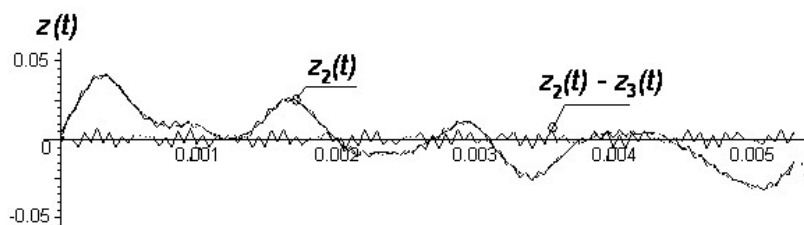


Рисунок 5 – Пример графиков перемещений частей щетки при полигармонической функции неровности профиля коллектора

При этом во всем диапазоне изменения скоростей вращения коллектора, как показали полученные в ходе решений ММ графики, взаимные перемещения частей щеток не превышали значения $0,01 \text{ мм}$.

Кроме того, на основе ММ так же исследовалось влияние уменьшения массы m_3 – расходимой щетки на характер механических колебаний. Исследование показало, что по мере износа внутренней части щетки, взаимные перемещения увеличиваются в $1,5...2$ раза и приобретают хаотический характер, но не выходят за предел $0,05 \text{ мм}$ для всего диапазона скоростей вращения коллектора, даже при значительном износе части щетки (рисунок 6).

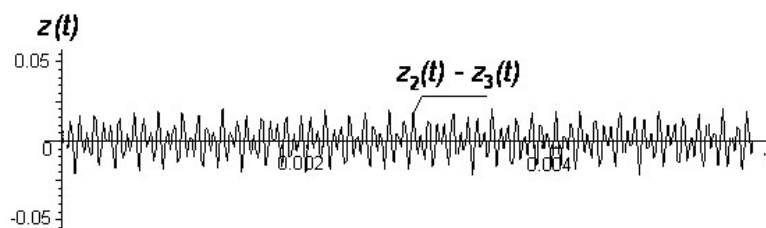


Рисунок 6 – График перемещений частей щетки при полигармонической функции неровности профиля коллектора и износе внутренней части щетки на 90% ($m_3=0,0051 \text{ кг}$)

Таким образом:

1 Выявлено, что для различных неровностей профилей коллектора, включая самые тяжелые условия, если они не выходят за допустимые по амплитуде значения, и различных скоростей вращения коллектора максимальные расхождения частей щеток не превосходят 0,005...0,01 мм, что на практике не приведет к разрыву электрической цепи.

2 Установлено, что по мере износа внутренней части щетки, её взаимные расхождения по отношению к внешней части щетки будут увеличиваться, однако и в этом случае они не превосходят значения 0,02мм, что так же не приведет к разрыву электрической цепи. Поэтому поперечно разрезанные (составные) щетки могут быть применены как средство снижения общих расходов при обслуживании тяговых электродвигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Тепловозы типа ТЭ10М: рук. по эксплуатации и обслуживанию 2139.00.00.000 РЭ. -М.: Транспорт, 1985. -327 с.

2 Пат. 51792 Российская Федерация, МПК Н 01 R 39/40. Щёточный узел электрической машины / Идиятуллин Р.Г. -опубл. 27.02.06, Бюл. №6.

3 Пат. 2365005 Российская Федерация, МПК Н 01 R 39/18. Составная разъемная щётка с замковой частью / Степанов Е.Л. -опубл. 20.08.09, Бюл. №23.

4 Фомичева, Е.В. Решение дифференциальных уравнений колебаний механической системы с полутора степенями свободы / Е.В. Фомичева, О.И. Линевиц // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2006. -№1. -С. 213-216.

5 Дьяконов, В.П. Maple 6: учеб. курс / В.П. Дьяконов. -СПб.: Питер, 2001. -608 с.

6 ЦТ-ЦТВР/4782 Правила ремонта электрических машин электроподвижного состава. -М.: Транспорт, 1992.

7 Щеточный контакт и его роль в коммутационном процессе машин постоянного тока / М.Ф. Карасев [и др.] // Науч. тр. Ом. ин-та инженеров ж.-д. трансп. -1977. -Т.184. -С. 3-15.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электрощётка, падение напряжения на паре щёток, ресурс, коллекторно-щеточный узел

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Щуров Николай Иванович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «НГТУ»

Степанов Евгений Леонидович, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»

Вильбергер Михаил Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

Мятеж Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

Малоземов Борис Витальевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

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

КОЛЬЦЕВЫЕ СХЕМЫ ВЫПРЯМЛЕНИЯ ДЛЯ 12 n-ФАЗНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Н.И. Щуров, О.Л. Волкова, С.А. Евдокимов, А.А. Степанов

RING CIRCUITS RECTIFIER FOR 12 n-PHASE CONVERTER

«Novosibirsk state technical university»

N.I. Schurov, O.L. Volkova, S.A. Evdokimov, A.A. Stepanov

In the paper the topological features are considered and the method of construction an efficient ring circuits rectifier and staircase-ring circuits rectifier for 12 n-phase converter with 6-phase multistage non-symmetric voltage system is presented. An example of synthesis of 24-pulse ring circuit rectifier is given.

Keywords: topology, rectifier, ring circuit, quality, energy-saving

Рассмотрены топологические особенности и приведён метод построения экономичных кольцевых и лестнично-кольцевых схем выпрямления для 12 n-фазного преобразователя с каскадным построением шестифазных несимметричных систем напряжений. Приведен пример синтеза кольцевых схем для 24-пульсного выпрямителя.

Для мощных и сверхмощных вентильных преобразователей энергетических и промышленных установок нередко требуется повышать эквивалентную фазность преобразования (переход к 18-, 24-пульсному выпрямлению). К ряду причин, ограничивающих применение многофазных преобразователей, можно отнести следующие: заметное снижение эффективности преобразования при несимметрии питающих напряжений; снижение эффективности

преобразования при несинусоидальности напряжений сети (в основном, из-за влияния 5 и 7 гармоник); неизбежная для многих схемных решений параметрическая несимметрия трансформаторов, выражающаяся в асимметрии индуктивностей контуров коммутации вентильных мостов, соединенных с отдельными трансформаторами, приводящая к появлению неканонических гармоник; конструктивная несимметрия напряжений вторичных обмоток, ограничение которой усложняется с увеличением мощности преобразователя. Ограничение перечисленных негативных воздействий на качество преобразования достигается при использовании схемного решения, описанного в [1] (рисунок 1).

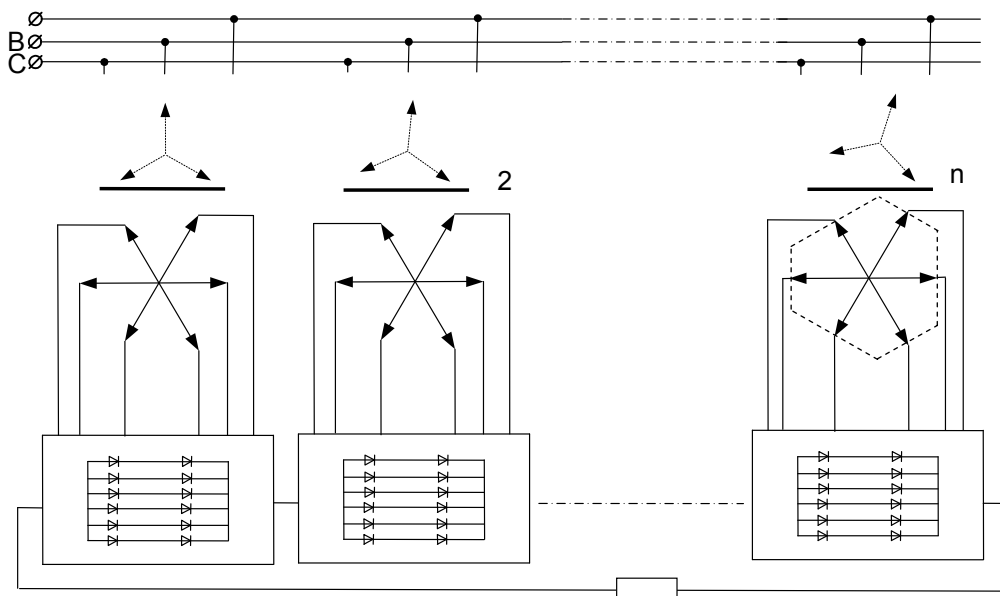


Рисунок 1 – Обобщенная схема 12 n-фазного преобразователя

На рисунке 2 представлена схема данного 12 n-фазного преобразователя при $n = 2$. При увеличении фазности преобразования в цепи тока нагрузки неизбежно увеличивается число вентильных плеч, расположенных последовательно в цепях протекания тока нагрузки, что увеличивает мощность потерь в вентилях и снижает КПД.

Повысить КПД 12 n-фазных преобразователей можно заменив мостовые схемы выпрямления на кольцевые или лестнично-кольцевые. При этом возникают сложности, связанные с построением таких схем. Однако при использовании метода вращающихся векторных диаграмм, описанного в [2], процедуры таких построений существенно упрощаются. Рассмотрим процедуры структурного синтеза на примере 24-фазного преобразователя со сдвигом систем $\Delta\varphi = 30$ эл. град.

Необходимо заметить, что топология вентильной схемы любого 12 n-фазного преобразователя имеет двойственную зави-

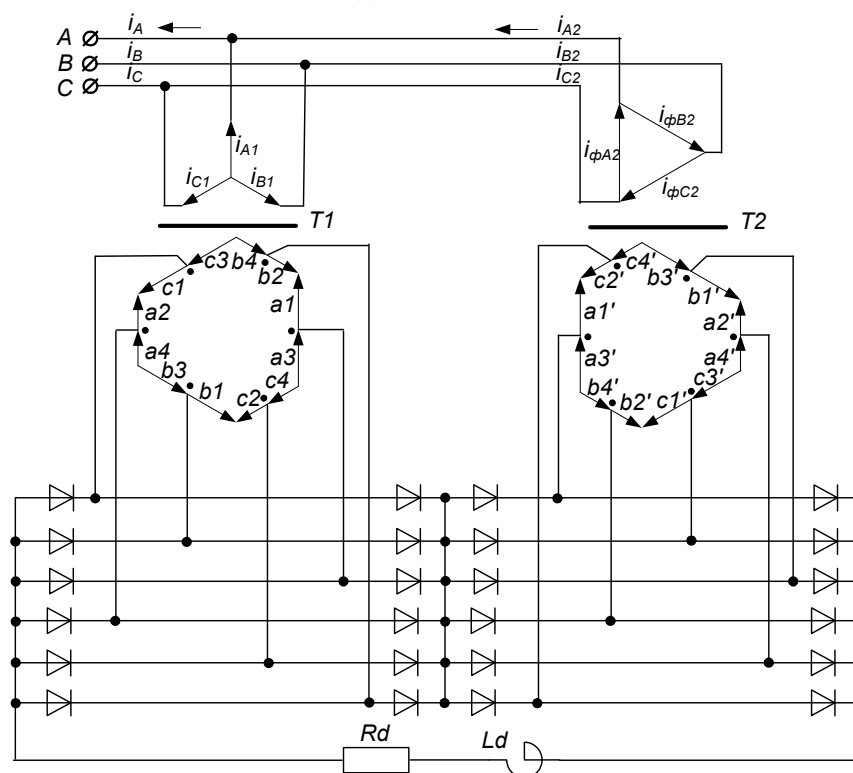


Рисунок 2 – Мостовая схема 24-фазного преобразователя

симость. При одних топологических параметрах формируются 12-вентильные диодные кольца, а при других - шестивентильные диодные кольца и вентильные группы, относящиеся по топологической классификации к лестничной структуре. Разделительной чертой для топологических параметров служит некое опорное значение, в частности, для угловых параметров – угол $\varepsilon = 30$ эл. град [3]. При $\varepsilon < 30$ эл. град. формируются кольцевые схемы, а при $\varepsilon > 30$ эл. град. формируются лестнично-кольцевые вентильные схемы. Физическая реализация параметров заключается в том, что если принять большую из сторон полуправильных шестиугольников вентильных обмоток равной 1,0 о.е., то при $\varepsilon = 30$ эл. град. меньшие стороны будут иметь топологический размер, равный 0,366. При $\varepsilon < 30$ эл. град. меньшие стороны имеют топологический размер больший, чем 0,366, а при $\varepsilon > 30$ эл. град. – меньший, чем 0,366.

Процедуры построения схемы не зависят от топологических параметров, и необходимая схема при их проведении получается автоматически.

При $n=2$ в соответствии с теоретическим исследованием [1] $\varepsilon_1 = 15$ эл. град., а $\varepsilon_2 = 45$ эл. град. Параметру ε_1 соответствует отношение большей стороны шестиугольника к меньшей 1:0,63, а при параметре ε_2 – 1:0,16. Рассмотрим реализацию предлагаемого метода для преобразователя с параметром ε_2 . Развернутые на потенциальной плоскости векторные диаграммы двух вторичных систем напряжений (рисунок 3) позволяют построить все 24 вектора результирующих выпрямляемых напряжений s_i и набрать элементы вентильной схемы. Как видно из диаграмм на рисунке 3, при формировании любого вектора две системы питания соединяются между собой одним диодом, а два диода связывают фазы систем с нагрузкой. При получении полного комплекта диодных связей систем между собой и с нагрузкой легко реализовать принципиальную схему выпрямителя, показанную на рисунке 4.

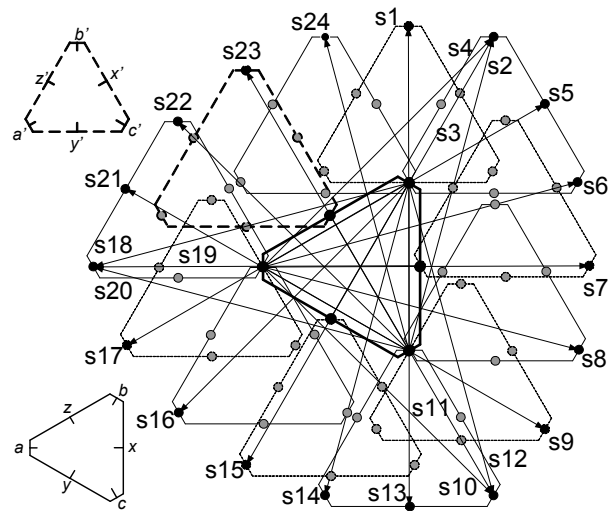


Рисунок 3 – Векторные диаграммы для синтеза схемы

Вентильная схема преобразователя содержит 12-вентильное кольцо и две шестивентильные звезды: анодную и катодную, образующие выходные выводы выпрямителя. Вентили кольца соединены только одноименными электродами, каждая фаза любого из шестиугольников соединена через два смежных вентиля 12-вентильного кольца с фазами другого шестиугольника, имеющими фазовые сдвиги относительно данной фазы, равные $\pi + \pi/6$ и $\pi - \pi/6$, причем полярность включения вентиля во всех указанных выше соединениях соответствует последовательному соединению источников и согласному включению всех вентилях во всех соединениях.

Аналогичные процедуры синтеза при $\varepsilon_2 = 45$ эл. град. позволяют получить вентильную часть преобразователя, изображенную на рисунке 5.

Кроме анодной и катодной групп в данном преобразователе формируется шестивентильное кольцо и лестничная структура из шести диодов, связывающих противофазные (без учета сдвига систем на 30 эл. град.) фазы шестифазных систем.

Уменьшение числа последовательно включенных диодов в цепи протекания тока нагрузки с четырех до трех позволяет снизить мощность потерь в вентилях данных преобразователей на четверть. При $n=3$, то есть при трех шестиугольниках, сдвинутых по фазе на 20 эл. град. (36-пульсное выпрямление), использование кольцевых и лестничных вентильных схем обеспечивает снижение мощности потерь в вентильной части, по сравнению с мостовыми схемами, на 33%.

Частные реализации 12 n-фазного преобразователя переменного тока в постоянный имеют достаточно высокие потребительские показатели, например, двухтрансформаторный 24-пульсный выпрямитель имеет:

– небольшую общую типовую мощность трансформаторов (1,078 при ε_2 или 1,137 при ε_1);

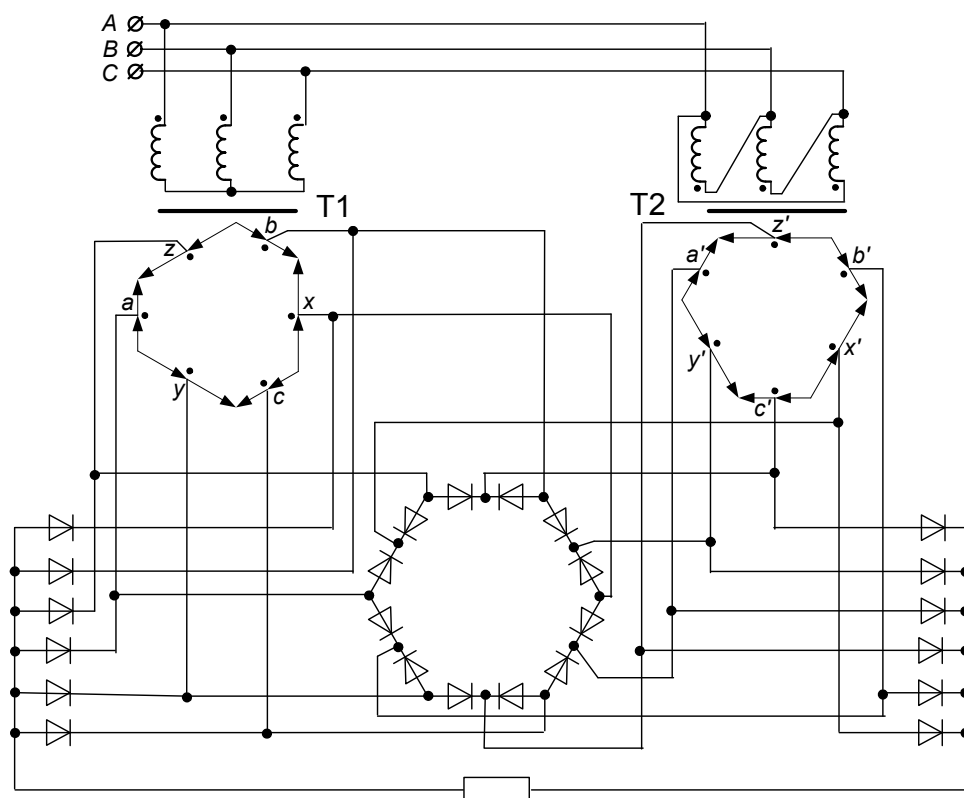


Рисунок 4 – Схема выпрямителя при $\varepsilon_1 = 15$ эл. град.

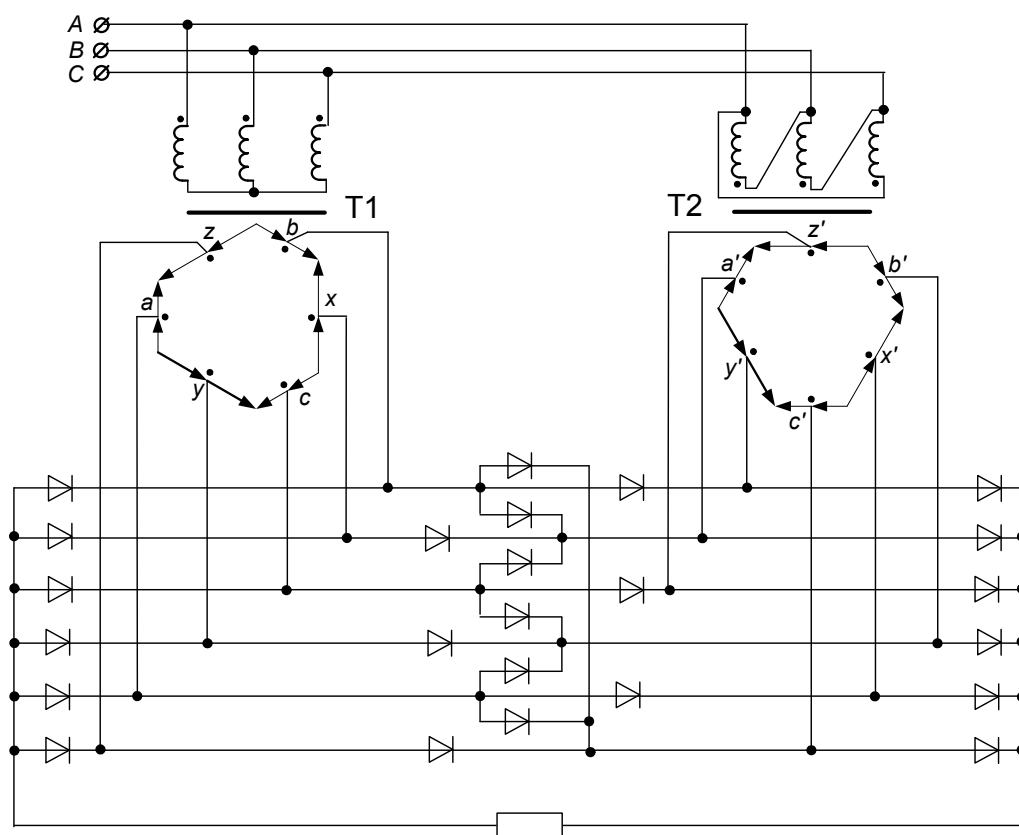


Рисунок 5 – Схема выпрямителя при $\varepsilon_2 = 45$ эл. град.

- ограниченное влияние конструктивной и параметрической несимметрий;
- пониженную зависимость от негативных воздействий питающей сети.

Выводы:

1 Разработана методика структурного синтеза вентильных схем 12 n-фазного преобразователя, основанная на методе вращающихся векторных диаграмм.

2 В результате проведенных исследований получены схемы экономичных преобразователей, имеющих более высокий КПД за счет снижения мощности потерь в вентилях.

3 24-фазный преобразователь рекомендован для главных тяговых подстанций перспективных систем электроснабжения железнодорожного транспорта постоянного тока с повышенным до 12-24 кВ напряжением в продольной линии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Евдокимов, С.А. Обобщенный 12n-фазный преобразователь / С.А. Евдокимов, Н.И. Щуров // Электротехника. -2009. -№12. -С. 27-32.

2 Синтез схем выпрямления, основанный на топологии вращающихся систем напряжений вентильных обмоток / Г.Н. Ворфоломеев [и др.] // Электротехника. -2006. -№10. -С. 33-40.

3 Евдокимов, С.А. Многопульсные выпрямители на основе шестифазных систем напряжений / С.А. Евдокимов // Науч. вестн. НГТУ. -2008. -№4(33). -С. 93-112.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: топология, выпрямитель, кольцевой, качество, энергосбережение

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Щуров Николай Иванович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «НГТУ»

Волкова Ольга Леонидовна, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»

Евдокимов Сергей Александрович, канд. техн. наук, инженер ГОУ ВПО «НГТУ»

Степанов Александр Андреевич, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»

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

К ПРОБЛЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ НЕКАЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Обь-Иртышский филиал ФГУ «Российский Речной Регистр»

«Инновационный Евразийский университет»

«Омский институт водного транспорта», филиал ФГОУ ВПО

«Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**С.М. Асосков, М.Г. Вишнягов, Е.В. Иванова, В.И. Клеутин,
А.А. Руппель, А.А. Сидоренко**

TO AN ELECTRICAL SUPPLY PROBLEM AT THE POOR-QUALITY ELECTRIC POWER

«Novosibirsk state academy of water transport»

Ob-Irtysh branch «Russian River Register»

«Innovative Euroasian university»

«Omsk institute of water transport», branch «Novosibirsk state academe of water transport»

S.M. Asoskov, M.G. Vishnjgov, E.V. Ivanova, V.I. Kleutin, A.A. Ruppel, A.A. Sidorenko

The analysis of existing devices for measurement of indicators of quality of the electric power and their basic characteristics is made. Influence of the poor-quality electric power between the seller and the buyer is considered. Ways of practical removal of a problem of quality of the electric power are resulted.

Keywords: *quality of the electric power, factor direct and return sequence, devices-analyzers*

Выполнен анализ существующих приборов для измерения показателей качества электроэнергии и их основные характеристики. Рассмотрено влияние некачественной электроэнергии между продавцом и покупателем. Приведены пути практического снятия проблемы качества электроэнергии.

Практическое решение проблемы качества электрической энергии в отечественной энергетике началось после появления на российском рынке сертифицированных приборов, непрерывно измеряющих показатели качества (ПКЭ), и введения с 1999 г. новой редакции ГОСТ 13109-97 [1]. Хочется отметить что, приборы на рынке имеются в достаточном количестве благодаря новым отечественным разработкам.

Недостаточное внимание к проблеме качества электроэнергии можно объяснить двумя причинами. С одной стороны, эта проблема становится все актуальнее по мере снижения уровня напряжения и наиболее «болезненна» в сетях 6, 10 и 0,4 кВ, в то время как основное энергоснабжающих организаций направлено на высоковольтные сети. С другой стороны, многие видят эту проблему только в части электромагнитной совместимости и не связывают ее с энергосбережением, то есть с конкретными, как теперь принято говорить, «живыми» деньгами. Поясним это на простом примере.

На рисунке 1 представлена диаграмма обмена некачественной активной электроэнергией между ее продавцом и покупателем для случая, когда продавец имеет симметричную систему генерирования, а покупатель – линейную несимметричную нагрузку (нет нулевой последовательности и нет искажения синусоидальности кривой напряжения). При этом качество электрической энергии по коэффициенту обратной последовательности не соответствует государственному стандарту. В этом случае продавец, поставляющий покупателю активную энергию, не получает за нее от покупателя полную плату, поскольку счетчики электрической энергии алгебраически суммируют всю активную энергию, то есть из энергии прямой последовательности вычитают энергию обратной. Между тем эта энергия распространяется по сетям и попадает к другим покупателям, имеющим симметричную линейную нагрузку. На рисунке 2 показана диаграмма получения некачественной энергии таким покупателем. При этом наблюдается иная картина – покупатель оплачивает согласно показаниям счетчиков энергию не только прямой последовательности, но и обратной. Следовательно, при расчете за электроэнергию по показаниям счетчиков в первом случае потери несет продавец электроэнергии, а во втором – покупатель.

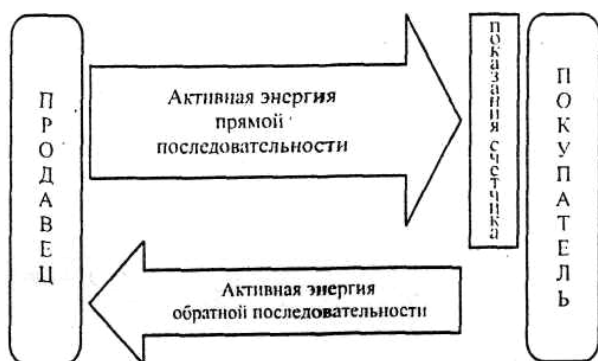


Рисунок 1 – Диаграмма обмена некачественной активной электроэнергией (первый вариант)

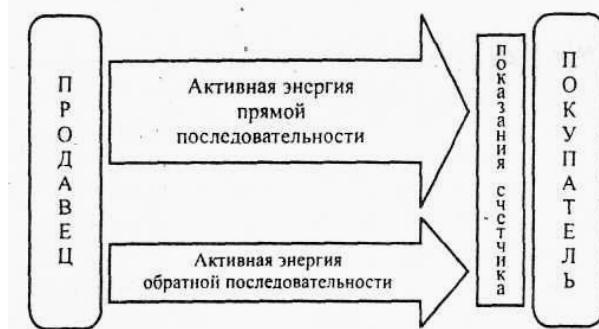


Рисунок 2 – Диаграмма получения некачественной энергии (второй вариант)

Эти примеры свидетельствуют о прямой количественной связи качества электроэнергии и проблемы энергосбережения. Кроме того, они подтверждают возможность строгой количественной идентификации источника искажений качества [2, 4].

Часто причиной ухудшения качества электроэнергии, вырабатываемой электростанциями, является плохое техническое состояние линий электропередачи и трансформаторных подстанций. Из этого, следует, что практически любой абонент, проведший в установленном порядке экспертизу качества электроэнергии, имеет возможность на основании закона при поддержке квалифицированных адвокатов отказаться от оплаты потребленной электроэнергии. Этот процесс пока сдерживается малым количеством независимых организаций, имеющих лицензию на проведение экспертизы качества электроэнергии, и практически полным отсутствием адвокатов и юрисконсультов предприятий-абонентов, компетентных в области энергоснабжения.

Анализируя создавшуюся ситуацию с качеством электроэнергии в сетях РФ, а также принимая во внимание отсутствие методической и инструментальной базы по количественной идентификации источников искажений, можно сделать вывод о том, что для практического снятия проблемы качества электрической энергии необходимы:

- организация непрерывного мониторинга показателей качества;
- разработка методической основы и соответствующего приборного оборудования по идентификации источников искажений с корректной количественной оценкой степени искажений.

Решение первой задачи связано с анализом в рамках конкретного АО существующих сетей и определением требуемого числа точек контроля качества с последующим подключением к ним либо стационарных, либо переносных приборов контроля ПКЭ. Одновременно следует внести изменения в существующий ГОСТ 13109-97, где кроме исправления очевидных ошибок необходимо откорректировать требования к точности измерений.

Решение второй задачи связано с разработкой принципиально новых приборов – многофункциональных счетчиков электрической энергии, измеряющих в двух направлениях мощности искажений, соответствующие тем или иным ПКЭ. Для идентификации источников искажений с последующим перерасчетом стоимости электроэнергии можно пользоваться методическими указаниями [3, 4].

Выполненный ниже анализ приборов для измерения показателей качества электроэнергии не в полной мере соответствует представленным требованиям [5].

Анализатор качества электроэнергии – ЭРИС-КЭ. Прибор типа ЭРИС-КЭ является специализированным компьютером, то есть представляет собой программируемое средство измерения. Он предназначен для контроля и анализа качества электроэнергии в электрических сетях трехфазного и однофазного тока напряжением от 0,22 до 750 кВ частотой 50 Гц.

Прибор снабжен алфавитно-цифровым и графическим жидкокристаллическими дисплеями для просмотра результатов текущих измерений и архивной информации и собственной энергонезависимой памятью, способной хранить информацию в зависимости от ее вида от одного месяца до двух лет.

Управление прибором осуществляется с помощью клавиатуры, расположенной на лицевой панели прибора. Текущая и накопленная информация может быть передана через интерфейс прибора на стандартную ПЭВМ.

Прибор измерения и анализа показателей качества электроэнергии «Ресурс-UF». У прибора измерительные входы не соединены с корпусом и защитным заземлением, что позволяет измерять параметры напряжений при подключении по четырех и трехпроводной схеме, в том числе и по схеме открытого треугольника. Диапазон измеряемых напряжений: 320 В – для фазного и 540 В для междуфазного.

«Ресурс-UF» осуществляет вывод отчетных документов на печатающее устройство, подключенное по интерфейсу RS232 и сохранение данных при отключении питающего напряжения. Может осуществляться дополнительная комплектация прибора программным обеспечением, предназначенным для считывания данных на компьютер.

Прибор контроля качества электроэнергии ППКЭ-1-50. Портативный прибор который предназначен для измерения основных показателей качества электроэнергии в электрических сетях переменного однофазного и трехфазного тока частотой 50 Гц напряжением от 0,22 до 330 кВ в соответствии с требованиями стандарта.

ППКЭ-1-50 представляет собой микроЭВМ. Содержит энергонезависимую память, устройство сопряжения (по RS-каналу) с персональным компьютером и параллельный порт для выдачи информации на принтер.

Прибор имеет изолированные от корпуса входы для измерения сигналов напряжения в однофазной и трех- или четырехпроводной трехфазной электрической сети.

В приборе предусмотрена возможность вывода результатов измерений и накопленной информации при помощи стандартного последовательного интерфейса RS232C в вычислительную среду верхнего уровня, в качестве которой может быть использован любой IBM-совместимый компьютер. ППКЭ-1-50 обеспечивает сохранение информации во всех блоках памяти при перепадах питания.

Измерительно-вычислительный комплекс ИВК «Омск». Предназначен для измерения качества электроэнергии предусмотренных ГОСТ 13109-97: абсолютная погрешность прибора не превышает 0,2 в единицах измеряемой величины по каждому показателю качества электроэнергии.

Приборы серии IWK. На базе ИВК «Омск» в Германии выпускаются серия приборов IWK для измерения показателей качества электроэнергии в соответствии с ГОСТ 13109-97 и международными стандартами МЭК.

Измеритель электрических параметров и показателей качества электрической энергии «НЕВА-ИПЭ». Прибор предназначен для измерения параметров электрических цепей в стационарных и переходных процессах при обследовании режимов работы электрических сетей энергосистем и промышленных предприятий, а также во время проведения измерений при пуске и наладке различных электрических силовых агрегатов и устройств автома-

тики и регулирования.

Выводы:

1 Обмен некачественной активной электроэнергией между ее продавцом и покупателем приводит к двум случаям. При расчете за электроэнергию по показаниям счетчиков в первом случае потери несет продавец электроэнергии, а во втором – покупатель.

2 Для снятия проблемы качества электроэнергии необходимы:

– организация непрерывного мониторинга показателей качества;

– разработка методической основы и соответствующего приборного оборудования по идентификации источников искажений с корректной количественной оценкой степени искажений.

3 Выполнен анализ существующих приборов для измерения показателей качества электроэнергии и их основные характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1 ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

2 Проблемы установления ответственности за ухудшение качества электрической энергии и пути их решения / В.С. Соколов [и др.] // Пром. энергетика. -2000. -№8.

3 Белоусов, В.Н. Отражение в договорах на электроснабжение вопросов качества электроэнергии и условий потребления и генерации реактивной энергии /В.Н. Белоусов, Ю.С. Железко // Пром. энергетика. -1998. -№11.

4 Соколов, В.С. Предложения по инженерному решению проблемы качества электрической энергии / В.С. Соколов, Н.В. Чернышова // Пром. энергетика. -2001. -№8.

5 Журовский, А.М. Гармоники в электрических сетях: задачи и решения / А.М. Журовский, Е.В. Иванова, А.А. Сидоренко; под ред. А.А. Руппель. -2-е изд., доп. и перераб. -Омск: Ом. ин-т вод. трансп. (филиал) ФГОУ ВПО НГАВТ, 2009. -119 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *качество электроэнергии, коэффициент прямой и обратной последовательности, приборы-анализаторы*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Асосков Сергей Михайлович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Вишнягов Михаил Геннадиевич, заместитель директора Обь-Иртышского филиала ФГУ «РРР»
Иванова Елена Васильевна, докт. техн. наук, профессор «Инновационный Евразийский университет»
Клеутин Владислав Иванович, ассистент «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Руппель Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Сидоренко Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»
644121, г. Омск, ул. 25 лет Октября, 11, Обь-Иртышский филиал ФГУ «РРР»
140003, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 45, Инновационный Евразийский университет
644043, г. Омск, ул. И.Алексеева, 4, «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИИ ИЗОЛЯЦИИ В СИММЕТРИЧНЫХ СЕТЯХ 0,4 кВ

«Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова»

Б.Б. Утегулов, Ж.Б. Исабеков

**DEVELOPMENT OF ALGORITHM OF THE MICROPROCESSOR DEVICE OF THE AUTOMATIC CONTROL A CONDITION OF
ISOLATION IN SYMMETRIC NETWORKS 0,4 kV**

«Pavlodar state university named S. Torajgyrov»

B.B. Ytegulov, Zh.B. Isabekov

In given clause the algorithm of the microprocessor device for automatic definition of parameters of isolation in networks 0,4 kV is developed, that allows to ensure safety of the attendants on manufacture

Keywords: parameters of isolation, microprocessor device, algorithm, basic circuit

Разработан алгоритм микропроцессорного устройства для автоматического определения пара-

метров изоляции в сетях 0,4 кВ, что позволяет обеспечить безопасность обслуживающего персонала на производстве.

Одним из возможных вариантов повышение надежности электроустановок и электроснабжения, является точное определение состояния изоляции. В соответствии с этим, был разработан алгоритм микропроцессорного устройства для точного и автоматического определения параметров изоляции, где основным является:

1 Алгоритм автоматического контроля состояния изоляции в сетях 0,4 кВ, определяющий последовательность выполняемых действий;

2 Функциональная и принципиальная схема разрабатываемого устройства, обосновывающая определения необходимых функциональных элементов и их взаимосвязи.

Алгоритм основан на измерении величин модулей линейного напряжения $U_{\text{л}}$, напряжений фаз А, В и С, U_A , U_B и U_C соответственно, после подключения между одной из фаз электрической сети и землей дополнительной активной проводимости g_0 . По полученным данным определяют параметры изоляции [1]:

– полная проводимость изоляции электрической сети

$$y = \frac{\sqrt{3}U_A}{\sqrt{U_{\text{л}}^2 + 3U_A^2 - \sqrt{3[4U_{\text{л}}^2U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2)^2]}}} g_0; \quad (1)$$

– емкостная проводимость изоляции электрической сети

$$b = \frac{U_C^2 - U_B^2}{U_{\text{л}}^2 + 3U_A^2 - \sqrt{3[4U_{\text{л}}^2U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2)^2]}}} g_0; \quad (2)$$

– активная проводимость изоляции электрической сети

$$g = \sqrt{y^2 - b^2}, \quad (3)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение;

U_A, U_B, U_C – напряжения фаз А, В и С относительно земли;

g_0 – активная дополнительная проводимость.

Для симметричной сети метод измерения исходных данных показан принципиальной схемой (рисунок 1), содержащая: трехфазную электрическую сеть с фазами А, В, С; вольтметры V1, V2, V3 и V4, измеряющие линейное напряжение и напряжения фаз А, В, и С соответственно; выключатель нагрузки QF, коммутирующий дополнительную активную проводимость g_0 между фазой А электрической сети и землей; полную проводимость изоляции сети Y.

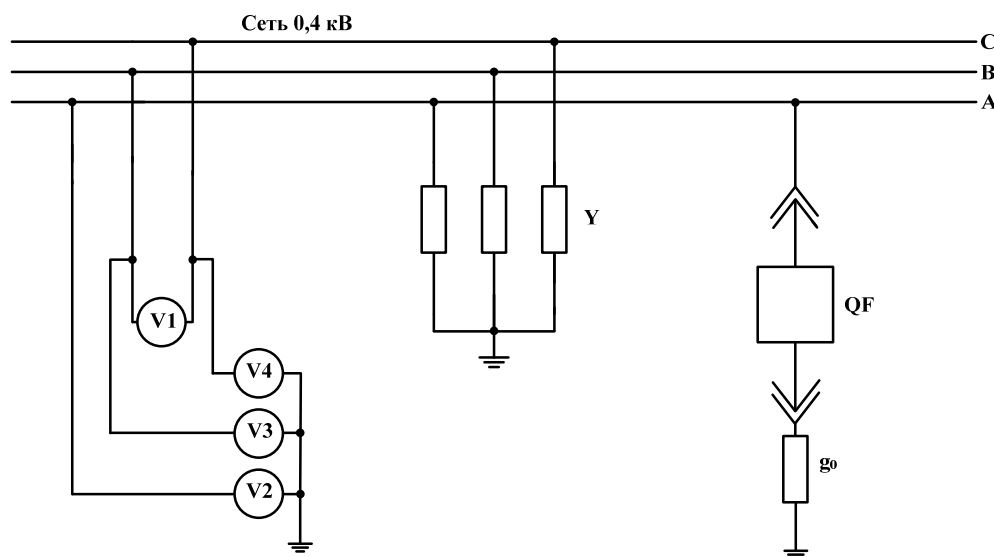


Рисунок 1 – Принципиальная схема разрабатываемого устройства для симметричной сети

На основе анализа выполняемых действий для автоматического контроля состояния

изоляции разработан алгоритм для симметричной сети напряжением 0,4 кВ (рисунок 2), состоящий:

1 Проверка наличия напряжения в электрической сети;

2 Подключение выключателем нагрузки дополнительной активной проводимости между одной из фаз электрической сети и землей;

3 Считывание с вторичной обмотки трансформатора напряжения величин модулей линейного напряжения U_L , напряжения фаз А, В и С, U_A , U_B и U_C ;

4 Преобразование полученных величин в цифровой код;

5 Выключателем нагрузки QF производится отключение активной дополнительной проводимости g_0 ;

6 Вычисление на основе преобразованных величин U_L , U_A , U_B и U_C параметров изоляции y, b, g .

7 Сохранение времени измерения напряжений и значения параметров изоляции в оперативном запоминающем устройстве;

8 Вывод всех величин времени измерения напряжений на устройстве отображения и передачи данных в информационно-управляющую систему контроля параметров изоляции системы;

9 Отчет заданного периода определения параметров изоляции;

10 Переход к началу программы.

Таким образом, разработанный алгоритм микропроцессорного устройства позволяет производить автоматическое определение параметров изоляции для обеспечения оперативности и роста уровня безопасности обслуживающего персонала на производстве и качества работы электроустановок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Утегулов, Б.Б. Исследования устройств защиты автоматики в электрической сети напряжением 0,4 кВ / Б.Б. Утегулов, Ж.Б. Исабеков, А.М. Акаев // Международная научная конференция VII Сатпаевские чтения. -2007. -№20.

2 Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учеб. для вузов по спец. «Электроснабжение» / В.А. Андреев. -3-е изд., перераб. и доп. -М.: Высш. шк., 1991. -496 с.: ил.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: параметры изоляции, микропроцессорное устройство, алгоритм, принципиальная схема

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Утегулов Болатбек Ба-

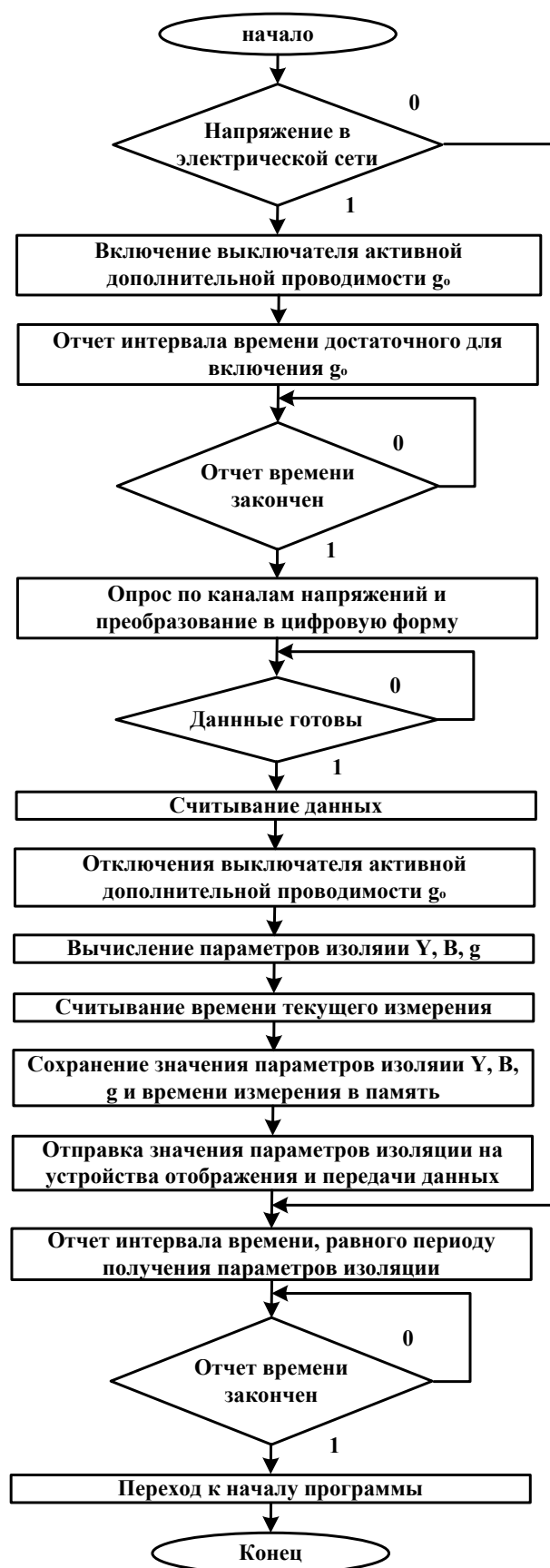


Рисунок 2 – Содержательная граф-схема алгоритма устройства автоматического контроля изоляции в электрической симметричной сети 0,4 кВ

хытжанович, докт. техн. наук, профессор «Павлодарский ГУ им. С.Торайгырова»
Исабеков Жанат Бейсембаевич, аспирант «Павлодарский ГУ им. С.Торайгырова»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64, «Павлодарский ГУ им. С.Торайгырова»

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ И ПОТЕНЦИАЛОВ В СИСТЕМЕ ДВУХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДНИКОВ С УЧЕТОМ ИХ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

В.А. Кандаев, К.В. Авдеева, А.М. Ерита

THE DISTRIBUTION OF CURRENTS AND POTENTIALS IN SYSTEM OF TWO INSULATED CONDUCTORS TAKING INTO ACCOUNT THEIR MUTUAL INFLUENCE

«Omsk state transport university»

V.A. Kandaev, K.V. Avdeeva, A.M. Erita

Decisions for definition of currents and potentials in system of two insulated conductors taking into account their inductive and galvanic influence are received.

Keywords: system of two cable, insulated conductor, current, potential, system of equations

Получены решения для определения токов и потенциалов в системе двух изолированных проводников с учетом их индуктивного и гальванического влияния.

В реальных условиях кабели электроснабжения и связи укладываются либо в одной траншее, либо параллельно с другими подземными или наземными протяженными металлическими сооружениями (кабели, трубопроводы, электрифицированные железные дороги). Наличие металлических проводников, проложенных параллельно рассматриваемому, ведет к изменению распределения токов и потенциалов в нем. В то же время в параллельном проводнике появятся токи и потенциалы за счет наличия рассматриваемого проводника с током. Причиной перехода энергии с одного проводника на другой является наличие между ними индуктивной и гальванической связей.

Рассмотрим решение задачи распределения токов и потенциалов в системе двух изолированных проводников конечной длины L , проложенных в земле на глубине h параллельно друг другу на расстоянии d (рисунок 1). По концам проводники нагружены на известные сопротивления Z_{1L}, Z_{20}, Z_{2L} . К одному концу первого изолированного проводника подключен генератор переменного тока с известной ЭДС E и известным внутренним сопротивлением Z_g . Первичные, волновые и взаимные параметры проводников предполагаются известными или рассчитываются [1].

Из общей теории электромагнитного влияния для данной системы двух проводников можно записать [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{d\dot{U}_1}{dx} = Z_{11}\dot{i}_1 + Z_{21}\dot{i}_2; \\ -\frac{d\dot{i}_1}{dx} = Y_{11}\dot{U}_1 - Y_{21}\dot{U}_2; \\ -\frac{d\dot{U}_2}{dx} = Z_{22}\dot{i}_2 + Z_{12}\dot{i}_1; \\ -\frac{d\dot{i}_2}{dx} = Y_{22}\dot{U}_2 - Y_{12}\dot{U}_1, \end{array} \right. \quad (1)$$

где $\dot{U}_1, \dot{i}_1, \dot{U}_2, \dot{i}_2$ – напряжения и токи в первом и втором проводниках соответственно,

$Z_{11}, Z_{22}, Y_{11}, Y_{22}$ – собственные комплексные сопротивления и проводимости единицы длины изолированных проводников,

Z_{12}, Z_{21} – взаимное сопротивление проводников, определяемое через коэффициент взаимной индукции,

Y_{12}, Y_{21} – взаимная проводимость между двумя изолированными проводниками.

Принимаем, что проводники уложены в однородную землю и $Z_{12} = Z_{21}$, $Y_{12} = Y_{21}$, то есть имеют одинаковые коэффициенты взаимной связи. В общем случае $Z_{12} \neq Z_{21}$, $Y_{12} \neq Y_{21}$.

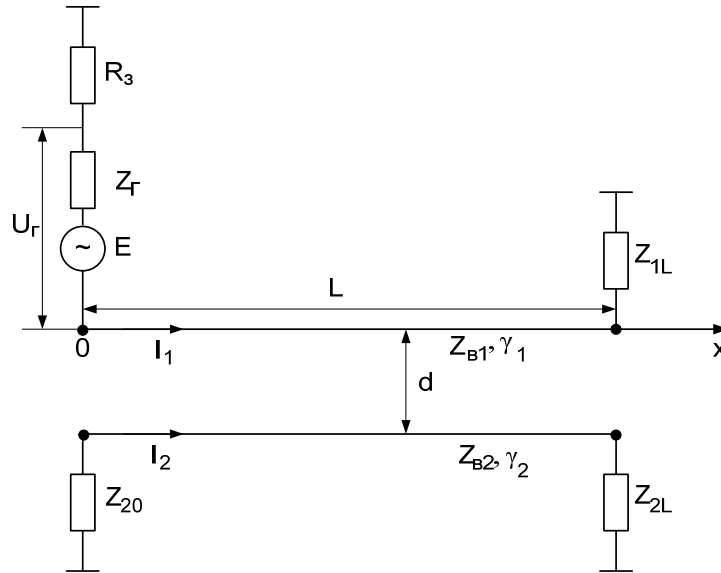


Рисунок 1 – Взаимное расположение двух изолированных проводников

Дифференцируя по x первое и третье уравнения системы, получим:

$$\begin{aligned} -\frac{d^2 \dot{U}_1}{dx^2} &= Z_1 \frac{d \dot{I}_1}{dx} + Z_{12} \frac{d \dot{I}_2}{dx}; \\ -\frac{d^2 \dot{U}_2}{dx^2} &= Z_2 \frac{d \dot{I}_2}{dx} + Z_{12} \frac{d \dot{I}_1}{dx}. \end{aligned} \quad (2)$$

Подставим из приведенной выше системы (1) значения производных $d \dot{I}_1/dx$ и $d \dot{I}_2/dx$ в (2), тогда:

$$\begin{aligned} -\frac{d^2 \dot{U}_1}{dx^2} &= -(Z_1 Y_1 - Z_{12} Y_{12}) \dot{U}_1 + (Z_1 Y_{12} - Z_{12} Y_2) \dot{U}_2; \\ -\frac{d^2 \dot{U}_2}{dx^2} &= -(Z_2 Y_2 - Z_{12} Y_{12}) \dot{U}_2 + (Z_2 Y_{12} - Z_{12} Y_1) \dot{U}_1. \end{aligned} \quad (3)$$

Аналогично получим:

$$\begin{aligned} -\frac{d^2 \dot{I}_1}{dx^2} &= -(Z_1 Y_1 - Z_{12} Y_{12}) \dot{I}_1 + (Z_2 Y_{12} - Z_{12} Y_1) \dot{I}_2; \\ -\frac{d^2 \dot{I}_2}{dx^2} &= -(Z_2 Y_2 - Z_{12} Y_{12}) \dot{I}_2 + (Z_1 Y_{12} - Z_{12} Y_2) \dot{I}_1. \end{aligned} \quad (4)$$

Введем следующие обозначения:

$$\begin{aligned} \alpha_1^2 &= Z_1 Y_1 - Z_{12} Y_{12}; \\ \alpha_2^2 &= Z_2 Y_2 - Z_{12} Y_{12}; \\ \sigma^2 &= Z_1 Y_{12} - Z_{12} Y_2; \\ \delta^2 &= Z_2 Y_{12} - Z_{12} Y_1. \end{aligned} \quad (5)$$

Подставляя $\alpha_1, \alpha_2, \sigma, \delta$ в выражения (3) и (4) получим:

$$\begin{cases} \frac{d^2 \dot{U}_1}{dx^2} = \alpha_1^2 \dot{U}_1 - \sigma^2 \dot{U}_2; \\ \frac{d^2 \dot{I}_1}{dx^2} = \alpha_1^2 \dot{I}_1 - \delta^2 \dot{I}_2; \\ \frac{d^2 \dot{U}_2}{dx^2} = \alpha_2^2 \dot{U}_2 - \delta^2 \dot{U}_1; \\ \frac{d^2 \dot{I}_2}{dx^2} = \alpha_2^2 \dot{I}_2 - \sigma^2 \dot{I}_1. \end{cases} \quad (6)$$

Возьмем четвертые производные приведенных функций

$$\begin{cases} \frac{d^4 \dot{U}_1}{dx^4} = \alpha_1^2 \frac{d^2 \dot{U}_1}{dx^2} - \sigma^2 \frac{d^2 \dot{U}_2}{dx^2}; \\ \frac{d^4 \dot{I}_1}{dx^4} = \alpha_1^2 \frac{d^2 \dot{I}_1}{dx^2} - \delta^2 \frac{d^2 \dot{I}_2}{dx^2}; \\ \frac{d^4 \dot{U}_2}{dx^4} = \alpha_2^2 \frac{d^2 \dot{U}_2}{dx^2} - \delta^2 \frac{d^2 \dot{U}_1}{dx^2}; \\ \frac{d^4 \dot{I}_2}{dx^4} = \alpha_2^2 \frac{d^2 \dot{I}_2}{dx^2} - \sigma^2 \frac{d^2 \dot{I}_1}{dx^2}. \end{cases} \quad (7)$$

Подставив в (7) значения вторых производных из (6), после соответствующих преобразований получим:

$$\begin{cases} \frac{d^4 \dot{U}_1}{dx^4} - (\alpha_1^2 + \alpha_2^2) \frac{d^2 \dot{U}_1}{dx^2} + (\alpha_1^2 \alpha_2^2 - \sigma^2 \delta^2) \dot{U}_1 = 0, \\ \frac{d^4 \dot{I}_1}{dx^4} - (\alpha_1^2 + \alpha_2^2) \frac{d^2 \dot{I}_1}{dx^2} + (\alpha_1^2 \alpha_2^2 - \sigma^2 \delta^2) \dot{I}_1 = 0, \\ \frac{d^4 \dot{U}_2}{dx^4} - (\alpha_1^2 + \alpha_2^2) \frac{d^2 \dot{U}_2}{dx^2} + (\alpha_1^2 \alpha_2^2 - \sigma^2 \delta^2) \dot{U}_2 = 0, \\ \frac{d^4 \dot{I}_2}{dx^4} - (\alpha_1^2 + \alpha_2^2) \frac{d^2 \dot{I}_2}{dx^2} + (\alpha_1^2 \alpha_2^2 - \sigma^2 \delta^2) \dot{I}_2 = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Из двух первых уравнений системы (8) имеем:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= p_1 \exp(-k_1 x) + p_2 \exp(k_1 x) + p'_3 \exp(-k_2 x) + p'_4 \exp(k_2 x); \\ \dot{I}_1 &= q_1 \exp(-k_1 x) + q_2 \exp(k_1 x) + q'_3 \exp(-k_2 x) + q'_4 \exp(k_2 x), \end{aligned} \quad (9)$$

где $p_1, p_2, p'_3, p'_4, q_1, q_2, q'_3, q'_4$ – постоянные интегрирования,

k_1, k_2 находятся из уравнения:

$$k^4 - (\alpha_1^2 + \alpha_2^2)k^2 + \alpha_1^2 \alpha_2^2 - \sigma^2 \delta^2 = 0,$$

то есть
$$k_{1,2} = \sqrt{\frac{(\alpha_1^2 + \alpha_2^2) \pm \sqrt{(\alpha_1^2 - \alpha_2^2)^2 - 4\sigma^2 \delta^2}}{4}}. \quad (10)$$

Из выражений (6) следует, что

$$\begin{aligned} \sigma^2 \dot{U}_2 &= \alpha_1^2 \dot{U}_1 - \frac{d^2 \dot{U}_1}{dx^2}; \\ \delta^2 \dot{I}_2 &= \alpha_1^2 \dot{I}_1 - \frac{d^2 \dot{I}_1}{dx^2}. \end{aligned} \quad (11)$$

Подставив полученные значения $\dot{U}_1$ и $\dot{I}_1$ из (9) и вводя обозначения:

$$p'_3 \frac{\alpha_1^2 - k_2^2}{\sigma^2} = p_3; \quad p'_4 \frac{\alpha_1^2 - k_2^2}{\sigma^2} = p_4; \quad q'_3 \frac{\alpha_1^2 - k_2^2}{\delta^2} = q_3; \quad q'_4 \frac{\alpha_1^2 - k_2^2}{\delta^2} = q_4,$$

запишем решения для системы уравнений второго порядка:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = p_1 \exp(-k_1 x) + p_2 \exp(k_1 x) + \eta_1 [p_3 \exp(-k_2 x) + p_4 \exp(k_2 x)]; \\ \dot{I}_1 = q_1 \exp(-k_1 x) + q_2 \exp(k_1 x) - \eta_2 [q_3 \exp(-k_2 x) + q_4 \exp(k_2 x)]; \\ \dot{U}_2 = \eta_2 [p_1 \exp(-k_1 x) + p_2 \exp(k_1 x)] + p_3 \exp(-k_2 x) + p_4 \exp(k_2 x); \\ \dot{I}_2 = -\eta_1 [q_1 \exp(-k_1 x) + q_2 \exp(k_1 x)] + q_3 \exp(-k_2 x) + q_4 \exp(k_2 x), \end{cases} \quad (12)$$

где
$$\eta_1 = \frac{\sigma^2}{\alpha_1^2 - k_2^2}; \quad \eta_2 = \frac{-\delta^2}{\alpha_1^2 - k_2^2}. \quad (13)$$

Выразим постоянные q_1, q_2, q_3, q_4 через p_1, p_2, p_3, p_4 , для чего подставим полученные значения $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_1$ и $\dot{I}_2$ в первое и третье уравнения системы (1). Откуда получим:

$$q_1 = \frac{p_1}{Z_a}; \quad q_2 = -\frac{p_2}{Z_a}; \quad q_3 = \frac{p_3}{Z_b}; \quad q_4 = -\frac{p_4}{Z_b}, \quad (14)$$

где
$$Z_a = \frac{Z_1 - \eta_1 Z_{12}}{k_1}; \quad Z_b = \frac{Z_2 - \eta_2 Z_{12}}{k_2}. \quad (15)$$

Таким образом, получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = p_1 \exp(-k_1 x) + p_2 \exp(k_1 x) + \eta_1 [p_3 \exp(-k_2 x) + p_4 \exp(k_2 x)]; \\ i_1 = \frac{1}{Z_a} [p_1 \exp(-k_1 x) - p_2 \exp(k_1 x)] - \frac{\eta_2}{Z_b} [p_3 \exp(-k_2 x) - p_4 \exp(k_2 x)]; \\ \dot{U}_2 = \eta_2 [p_1 \exp(-k_1 x) + p_2 \exp(k_1 x)] + p_3 \exp(-k_2 x) + p_4 \exp(k_2 x); \\ i_2 = -\frac{\eta_1}{Z_a} [p_1 \exp(-k_1 x) - p_2 \exp(k_1 x)] + \frac{1}{Z_b} [p_3 \exp(-k_2 x) - p_4 \exp(k_2 x)]. \end{cases} \quad (16)$$

Постоянные интегрирования p_1, p_2, p_3, p_4 для данной системы можно найти через начальные значения напряжения и тока соответствующих линий, то есть через $\dot{U}_{10}, \dot{U}_{20}, i_{10}$ и i_{20} . Обычно эти величины неизвестны, но известны значения сопротивлений Z_{1L}, Z_{20}, Z_{2L} , на которые нагружены подземные сооружения. В этом случае граничные условия можно записать в следующем виде:

– при $x = 0$

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_{10}; \quad \frac{\dot{U}_{20}}{i_{20}} = Z_{20}, \quad (17)$$

– при $x = L$

$$\frac{\dot{U}_{1L}}{i_{1L}} = Z_{1L}; \quad \frac{\dot{U}_{2L}}{i_{2L}} = Z_{2L}. \quad (18)$$

С учетом условий (17) и (18) система (16) примет вид:

$$\begin{cases} \dot{U}_{10} = p_1 + p_2 + \eta_1 (p_3 + p_4); \\ Z_{1L} = \frac{p_1 \exp(-k_1 L) + p_2 \exp(k_1 L) + \eta_1 (p_3 \exp(-k_2 L) + p_4 \exp(k_2 L))}{\frac{1}{Z_a} [p_1 \exp(-k_1 L) - p_2 \exp(k_1 L)] - \frac{\eta_2}{Z_b} [p_3 \exp(-k_2 L) - p_4 \exp(k_2 L)]}; \\ Z_{20} = \frac{\eta_2 (p_1 + p_2) + p_3 + p_4}{-\frac{\eta_1}{Z_a} (p_1 - p_2) + \frac{1}{Z_b} (p_3 - p_4)}; \\ Z_{2L} = \frac{\eta_2 [p_1 \exp(-k_1 L) + p_2 \exp(k_1 L)] + p_3 \exp(-k_2 L) + p_4 \exp(k_2 L)}{-\frac{\eta_1}{Z_a} [p_1 \exp(-k_1 L) - p_2 \exp(k_1 L)] + \frac{1}{Z_b} [p_3 \exp(-k_2 L) - p_4 \exp(k_2 L)]}. \end{cases} \quad (19)$$

Преобразуем данную систему относительно постоянных интегрирования p_1, p_2, p_3, p_4 :

$$\begin{cases} p_1 + p_2 + \eta_1 p_3 + \eta_1 p_4 - \dot{U}_{10} = 0; \\ p_1 \left(1 - \frac{Z_{1L}}{Z_a}\right) \exp(-k_1 L) + p_2 \left(1 + \frac{Z_{1L}}{Z_a}\right) \exp(k_1 L) + p_3 \left(\eta_1 + \frac{\eta_2 Z_{1L}}{Z_b}\right) \exp(-k_2 L) + p_4 \left(\eta_1 - \frac{\eta_2 Z_{1L}}{Z_b}\right) \exp(k_2 L) - \frac{1}{Z_a} (p_1 e^{-k_1 L} - p_2 e^{k_1 L}) - \frac{\eta_2}{Z_b} (p_3 e^{-k_2 L} - p_4 e^{k_2 L}) = 0; \\ p_1 \left(\eta_2 + \frac{\eta_1 Z_{20}}{Z_a}\right) + p_2 \left(\eta_2 - \frac{\eta_1 Z_{20}}{Z_a}\right) + p_3 \left(1 - \frac{Z_{20}}{Z_b}\right) + p_4 \left(1 + \frac{Z_{20}}{Z_b}\right) - \frac{\eta_1}{Z_a} (p_1 - p_2) + \frac{1}{Z_b} (p_3 - p_4) = 0; \\ p_1 \left(\eta_2 + \frac{\eta_1 Z_{2L}}{Z_a}\right) \exp(-k_1 L) + p_2 \left(\eta_2 - \frac{\eta_1 Z_{2L}}{Z_a}\right) \exp(k_1 L) + p_3 \left(1 - \frac{Z_{2L}}{Z_b}\right) \exp(-k_2 L) + p_4 \left(1 + \frac{Z_{2L}}{Z_b}\right) \exp(k_2 L) - \frac{\eta_1}{Z_a} [p_1 \exp(-k_1 L) - p_2 \exp(k_1 L)] + \frac{1}{Z_b} [p_3 \exp(-k_2 L) - p_4 \exp(k_2 L)] = 0. \end{cases}$$

Учитывая, что дробь равна нулю только в случае, если числитель равен нулю, система запишется в виде:

$$\begin{cases} p_1 + p_2 + \eta_1 p_3 + \eta_1 p_4 - \dot{U}_{10} = 0; \\ p_1 \left(1 - \frac{Z_{1L}}{Z_a}\right) \exp(-k_1 L) + p_2 \left(1 + \frac{Z_{1L}}{Z_a}\right) \exp(k_1 L) + p_3 \left(\eta_1 + \frac{\eta_2 Z_{1L}}{Z_b}\right) \exp(-k_2 L) + p_4 \left(\eta_1 - \frac{\eta_2 Z_{1L}}{Z_b}\right) \exp(k_2 L) = 0; \\ p_1 \left(\eta_2 + \frac{\eta_1 Z_{20}}{Z_a}\right) + p_2 \left(\eta_2 - \frac{\eta_1 Z_{20}}{Z_a}\right) + p_3 \left(1 - \frac{Z_{20}}{Z_b}\right) + p_4 \left(1 + \frac{Z_{20}}{Z_b}\right) = 0; \\ p_1 \left(\eta_2 + \frac{\eta_1 Z_{2L}}{Z_a}\right) \exp(-k_1 L) + p_2 \left(\eta_2 - \frac{\eta_1 Z_{2L}}{Z_a}\right) \exp(k_1 L) + p_3 \left(1 - \frac{Z_{2L}}{Z_b}\right) \exp(-k_2 L) + p_4 \left(1 + \frac{Z_{2L}}{Z_b}\right) \exp(k_2 L) = 0. \end{cases} \quad (20)$$

Решим полученную систему (20) методом Крамера [3]. Для этого найдем определители матриц системы (20):

$$\begin{aligned} M &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & \eta_1 & \eta_1 \\ \left(1 - \frac{Z_{1L}}{Z_a}\right) \exp(-k_1 L) & \left(1 + \frac{Z_{1L}}{Z_a}\right) \exp(k_1 L) & \left(\eta_1 + \frac{\eta_2 Z_{1L}}{Z_b}\right) \exp(-k_2 L) & \left(\eta_1 - \frac{\eta_2 Z_{1L}}{Z_b}\right) \exp(k_2 L) \\ \left(\eta_2 + \frac{\eta_1 Z_{20}}{Z_a}\right) & \left(\eta_2 - \frac{\eta_1 Z_{20}}{Z_a}\right) & \left(1 - \frac{Z_{20}}{Z_b}\right) & \left(1 + \frac{Z_{20}}{Z_b}\right) \\ \left(\eta_2 + \frac{\eta_1 Z_{2L}}{Z_a}\right) \exp(-k_1 L) & \left(\eta_2 - \frac{\eta_1 Z_{2L}}{Z_a}\right) \exp(k_1 L) & \left(1 - \frac{Z_{2L}}{Z_b}\right) \exp(-k_2 L) & \left(1 + \frac{Z_{2L}}{Z_b}\right) \exp(k_2 L) \end{pmatrix}; \\ M1 &= \begin{pmatrix} \dot{U}_{10} & 1 & \eta_1 & \eta_1 \\ 0 & \left(1 + \frac{Z_{1L}}{Z_a}\right) \exp(k_1 L) & \left(\eta_1 + \frac{\eta_2 Z_{1L}}{Z_b}\right) \exp(-k_2 L) & \left(\eta_1 - \frac{\eta_2 Z_{1L}}{Z_b}\right) \exp(k_2 L) \\ 0 & \left(\eta_2 - \frac{\eta_1 Z_{20}}{Z_a}\right) & \left(1 - \frac{Z_{20}}{Z_b}\right) & \left(1 + \frac{Z_{20}}{Z_b}\right) \\ 0 & \left(\eta_2 - \frac{\eta_1 Z_{2L}}{Z_a}\right) \exp(k_1 L) & \left(1 - \frac{Z_{2L}}{Z_b}\right) \exp(-k_2 L) & \left(1 + \frac{Z_{2L}}{Z_b}\right) \exp(k_2 L) \end{pmatrix}; \\ M2 &= \begin{pmatrix} 1 & \dot{U}_{10} & \eta_1 & \eta_1 \\ \left(1 - \frac{Z_{1L}}{Z_a}\right) \exp(-k_1 L) & 0 & \left(\eta_1 + \frac{\eta_2 Z_{1L}}{Z_b}\right) \exp(-k_2 L) & \left(\eta_1 - \frac{\eta_2 Z_{1L}}{Z_b}\right) \exp(k_2 L) \\ \left(\eta_2 + \frac{\eta_1 Z_{20}}{Z_a}\right) & 0 & \left(1 - \frac{Z_{20}}{Z_b}\right) & \left(1 + \frac{Z_{20}}{Z_b}\right) \\ \left(\eta_2 + \frac{\eta_1 Z_{2L}}{Z_a}\right) \exp(-k_1 L) & 0 & \left(1 - \frac{Z_{2L}}{Z_b}\right) \exp(-k_2 L) & \left(1 + \frac{Z_{2L}}{Z_b}\right) \exp(k_2 L) \end{pmatrix}; \\ M3 &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dot{U}_{10} & \eta_1 \\ \left(1 - \frac{Z_{1L}}{Z_a}\right) \exp(-k_1 L) & \left(1 + \frac{Z_{1L}}{Z_a}\right) \exp(k_1 L) & 0 & \left(\eta_1 - \frac{\eta_2 Z_{1L}}{Z_b}\right) \exp(k_2 L) \\ \left(\eta_2 + \frac{\eta_1 Z_{20}}{Z_a}\right) & \left(\eta_2 - \frac{\eta_1 Z_{20}}{Z_a}\right) & 0 & \left(1 + \frac{Z_{20}}{Z_b}\right) \\ \left(\eta_2 + \frac{\eta_1 Z_{2L}}{Z_a}\right) \exp(-k_1 L) & \left(\eta_2 - \frac{\eta_1 Z_{2L}}{Z_a}\right) \exp(k_1 L) & 0 & \left(1 + \frac{Z_{2L}}{Z_b}\right) \exp(k_2 L) \end{pmatrix}; \\ M4 &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & \eta_1 & \dot{U}_{10} \\ \left(1 - \frac{Z_{1L}}{Z_a}\right) \exp(-k_1 L) & \left(1 + \frac{Z_{1L}}{Z_a}\right) \exp(k_1 L) & \left(\eta_1 + \frac{\eta_2 Z_{1L}}{Z_b}\right) \exp(-k_2 L) & 0 \\ \left(\eta_2 + \frac{\eta_1 Z_{20}}{Z_a}\right) & \left(\eta_2 - \frac{\eta_1 Z_{20}}{Z_a}\right) & \left(1 - \frac{Z_{20}}{Z_b}\right) & 0 \\ \left(\eta_2 + \frac{\eta_1 Z_{2L}}{Z_a}\right) \exp(-k_1 L) & \left(\eta_2 - \frac{\eta_1 Z_{2L}}{Z_a}\right) \exp(k_1 L) & \left(1 - \frac{Z_{2L}}{Z_b}\right) \exp(-k_2 L) & 0 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Постоянные интегрирования p_1, p_2, p_3, p_4 в этом случае будут равны:

$$p_1 = \frac{|M1|}{|M|}; p_2 = \frac{|M2|}{|M|}; p_3 = \frac{|M3|}{|M|}; p_4 = \frac{|M4|}{|M|}. \quad (21)$$

Подставив полученные значения постоянных интегрирования p_1, p_2, p_3, p_4 в (16) получим выражения, описывающие распределение токов и потенциалов в системе двух изолированных проводников с учетом их взаимного влияния.

Рассмотрим частные случаи решения этой системы:

1 Если проводники находятся на значительном расстоянии, когда взаимным влиянием можно пренебречь, в этом случае $Z_{12} = 0, Y_{12} = 0$. Тогда $k_1 = \gamma_1, k_2 = \gamma_2, \eta_1 = 0, \eta_2 = 0$ и система (16) распадается на независимые уравнения длинной линии [1].

2 В случае, если рассматривается только влияние одной линии на другую, а обратным влиянием пренебрегают, тогда $Z_{12} \neq Z_{21}, Y_{12} \neq Y_{21}$, причем $Z_{21} = 0, Y_{21} = 0$. Система (1) сводится к двум уравнениям для проводника, подверженному влиянию, дальнейшее решение аналогично.

3 Если изолированные проводники идентичны и имеют одинаковые электрические параметры, то есть $Z_1 = Z_2, Y_1 = Y_2$. В этом случае

$$\eta_1 = -1; \eta_2 = 1; k_1 = \sqrt{(Z_1 - Z_{12})(Y_1 + 2Y_{12})}; k_2 = \sqrt{(Z_1 + Z_{12})Y_1};$$

$$Z_a = \sqrt{(Z_1 - Z_{12})/(Y_1 + 2Y_{12})}; Z_b = \sqrt{(Z_1 + Z_{12})/Y_1}.$$

Рассмотрим пример решения системы (11) для изолированных оболочек двух кабелей ААШВ, расположенных в грунте с удельным сопротивлением $\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ на глубине $h = 0,7 \text{ м}$ и на расстоянии $d = 0,2 \text{ м}$. Напряжение в начале линии $U_{10} = 30 \text{ В}$, частота 10 Гц , длина линии 10 км , первый проводник на конце нагружен на сопротивление Z_b , которое определяется по выражению (15), второй с одного конца изолирован, с другой заземлен на сопротивление $Z_{2L} = 3 \text{ Ом}$. На рисунке 2 показаны кривые распределения токов и потенциалов для рассматриваемого случая (кривая 1 – первый проводник, кривая 2 – второй).

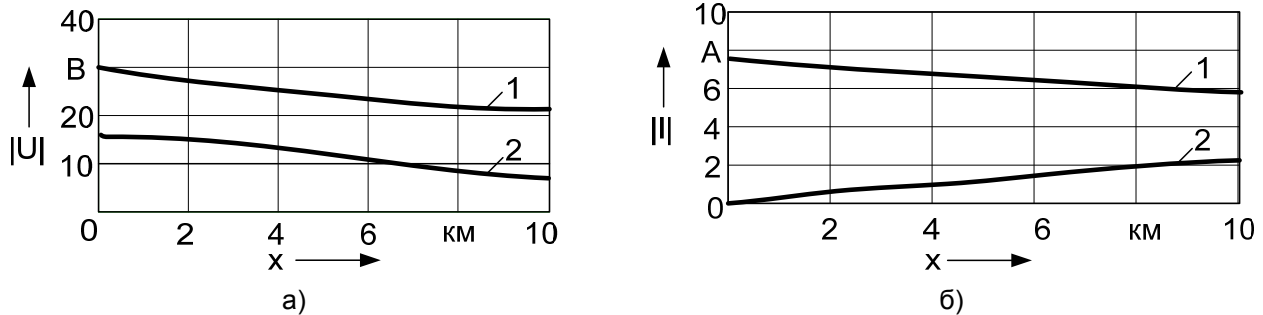


Рисунок 2 – Распределение потенциала (а) и тока (б) по длине проводника на частоте 10 Гц

Так как вторая линия изолирована в точке $x = 0$, то ток в ее начале равен нулю. На рисунке 3 представлены кривые распределения токов и потенциалов в тех же проводниках на частоте 100 Гц .

С ростом частоты ток в проводниках уменьшается из-за увеличения как собственного реактивного сопротивления, так и взаимного сопротивления. На более высоких частотах характер изменения тока и потенциала по длине проводника будет определяться наличием отраженной волны, влияние которой увеличивается с ростом частоты.

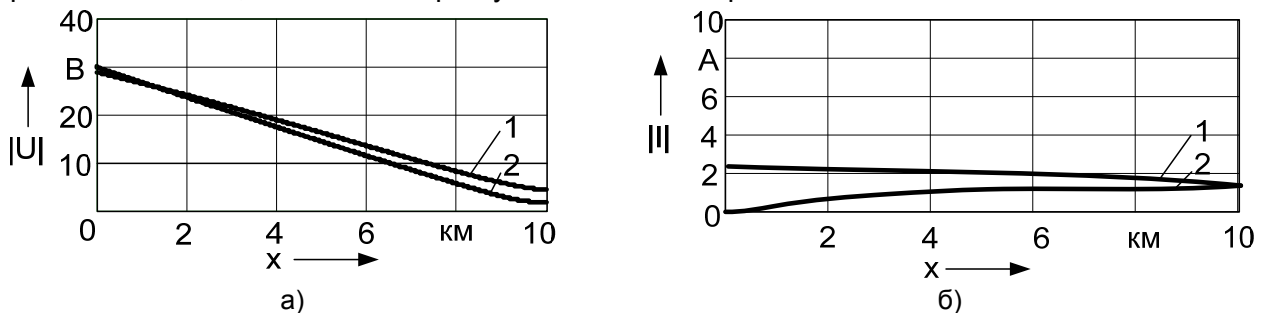


Рисунок 3 – Распределение потенциала (а) и тока (б) по длине проводника на частоте 100 Гц

Вывод: Получены решения для определения токов и потенциалов в системе двух изолированных проводников, позволяющих учесть их взаимное индуктивное и гальваническое влияние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Михайлов, М.И. Защита кабельных линий связи от влияния внешних электромагнитных полей / М.И. Михайлов, Л.Д. Разумов. -М.: Связь, 1967. -344 с.

2 Коваленков, В.И. Теория передачи по линиям электросвязи / В.И. Коваленков. -М.: Гос. изд-во по технике связи, 1937. -866 с.

3 Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. -М.: Наука, 1980. -976 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: двухкабельная система, изолированный проводник, ток, потенциал, система уравнений

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кандаев Василий Андреевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

Авдеева Ксения Васильевна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

Ермита Александр Михайлович, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К.Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АМПЛИТУД ГАРМОНИК ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Р.И. Газизов

ERROR ESTIMATION OF HARMONICS MAGNITUDE EVALUATION USING HARMONIC ANALYSIS METHOD

«Omsk state transport university»

R.I. Gazizov

Direct and indirect factors which affect the harmonic analysis quality viz. harmonics magnitude estimation are identified.

Keywords: harmonic analysis, Fourier series, modeling, error estimation

Выявлены прямые и косвенные факторы, влияющие на качество гармонического анализа, а именно, на точность оценки амплитуд гармонических составляющих сигнала.

Гармонический анализ является фундаментальным математическим аппаратом проведения исследований различных систем, в том числе и электрических сигналов. Он позволяет делать выводы о протекающих в системе процессах, распределении энергии по спектру, оценивать степень искажения формы сигнала относительно чистой синусоиды и прочей информации согласно стандарту [1].

С точки зрения гармонического анализа любой непрерывный сигнал может быть представлен в виде суммы некоторой постоянной составляющей и бесконечного ряда синусных (или косинусных) составляющих, называемом иначе рядом Фурье)

$$S(t) = s_0 + \sum_{i=1}^{\infty} s_{mi} \sin(2\pi f_i t + \varphi_i),$$

где s_0 — постоянная компонента;

s_{mi} — амплитуда i -ой компоненты;

f_i — частота i -ой компоненты;

φ_i — фаза i -ой компоненты.

Что касается представления дискретного сигнала на некотором конечном временном интервале T аппарат дискретного преобразования Фурье предлагает представить его в конечном базисе ортогональных функций (синусоид) частотой, кратной величине, обратной размеру интервала наблюдения функции:

$$S(k \cdot \Delta t) = s_0 + \sum_{i=1}^N s_{mi} \sin\left(2\pi \frac{i \cdot k \cdot \Delta t}{T} + \varphi_i\right).$$

При этом разрешение получаемого спектра сигнала по частоте не превышает величины $1/T$ [2].

Однако, полученный спектр, в общем случае, не отображает реальную картину компо-

нент сигнала, а служит лишь его правильным математическим разложением в базисе указанных функций. Иллюстрацией этого парадокса является всем известный эффект Гиббса, представленный на рисунке 1 (пунктиром обозначен «реальный», а сплошной линией «мнимый» спектры сигнала).

Судить о реальном наличии эффекта Гиббса и степени его влияния на спектр проблематично вследствие отсутствия знания априори о структуре сигнала, а именно частот, входящих в сигнал реальных компонент. Именно поэтому при анализе некоторого сигнала, модель которого неизвестна, мы не можем судить по спектру, является ли рассматриваемая компонента реальной составляющей сигнала или это результат эффекта Гиббса. В то же время существенное влияние на спектр сигнала оказывает функция накладываемого окна и уровень шума в сигнале [2].

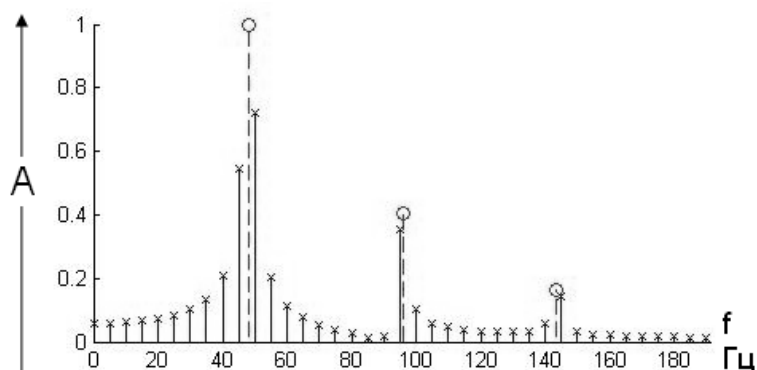


Рисунок 1 – «Реальный» и «мнимый» спектры сигнала

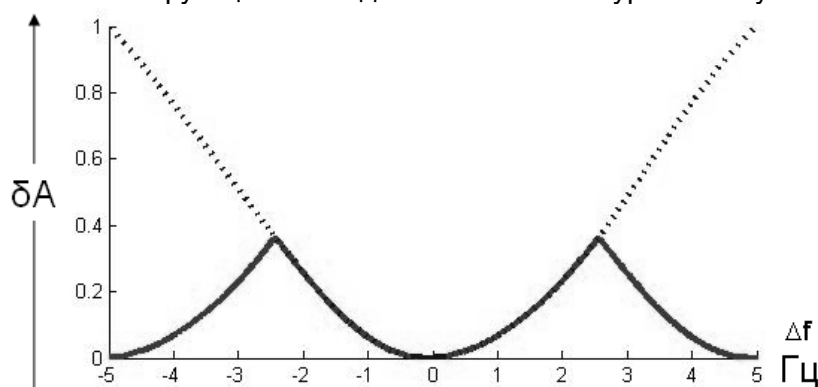


Рисунок 2 – Относительная погрешность определения амплитуды основной гармоники при отклонении ее частоты от номинала

В случае контроля параметров качества электроэнергии системы электроснабжения железных дорог модель сигнала (будь то сигнал тока или напряжения) известна. Она представляет собой комбинацию синусоиды основной частоты и синусоид высших и интергармонических составляющих, являющихся результатом воздействия нелинейных элементов и процессов в энергосистеме на сигнал.

В работе [3] предложен вариант внесения поправки в

расчетную амплитуду гармоники при проведении оконного преобразования Фурье с прямоугольным окном. Суть поправки заключается в компенсации искажений, вносимых функцией окна, а именно ослабления амплитуд гармоник и размытия спектра вследствие отклонения частоты основной гармоники от номинала 50 Гц. Эта поправка распространяется на отклонения частоты в диапазоне от -2,5 до 2,5 Гц (который включает допустимые и предельно допустимые отклонения частоты согласно ГОСТ 13109-97) от номинала. Как видно из представленного ниже рисунка 2, за пределами этого диапазона поправка теряет свою актуальность (пунктирная линия – предлагаемая поправка, сплошная – реальная относительная погрешность).

Однако моделирование в пакете MatLab показало, что помимо погрешности, вносимой отклонением частоты основной гармоники, имеют место погрешности, зависящие от фазы оцениваемой гармоники и частоты дис-

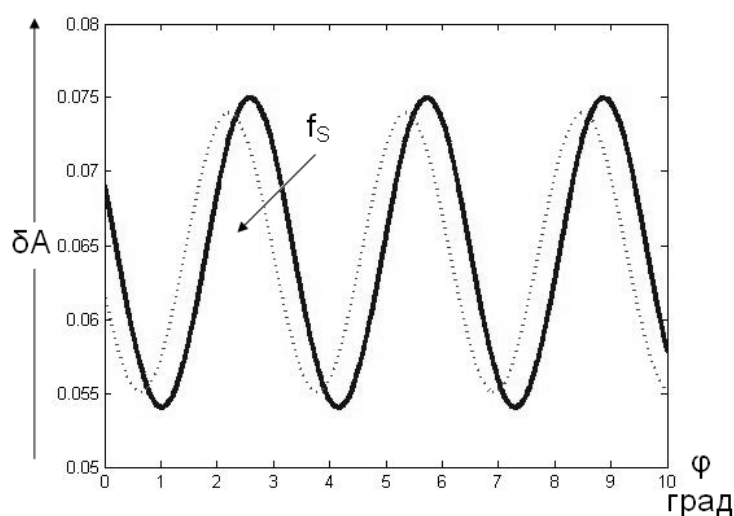


Рисунок 3 – Относительная погрешность определения амплитуды основной гармоники при различных значениях ее фазы

кретизации сигнала. Эти зависимости видны на рисунке 3 (сплошная – частота дискретизации 400 Гц, пунктир – частота дискретизации 12800 Гц).

Зависимость относительной погрешности определения амплитуды гармоники при различной частоте дискретизации сигнала при прочих равных параметрах сигнала и гармонического анализа представлена на рисунке 4.

Из рисунков 3 и 4 видно, что помимо отклонения частоты основной гармоники от номинальной, существенное влияние на точность определения ее амплитуды при проведении оконного преобразования Фурье с прямоугольным окном оказывают как фаза основной гармоники, так и частота дискретизации. Иными словами, все вышесказанное может быть выражено как следующая зависимость

$$\delta A_i = f(f_w, \Delta f_i, \phi_i, f_s, SNR),$$

где δA_i – относительная погрешность для i -ой компоненты;

f_w – функция окна;

Δf_i – отклонение частоты i -ой компоненты;

ϕ_i – фаза i -ой компоненты;

f_s – частота дискретизации сигнала;

SNR – уровень шума.

Как видно из рисунка 4 при достаточно больших значениях f_s значение погрешности практически перестает от нее зависеть

$$\lim_{f_s \rightarrow \infty} \delta A_i = f(f_w, \Delta f_i, \phi_i, SNR).$$

С точки зрения суперпозиции входящих в состав сигнала компонент, дополнительную погрешность в оценку амплитуды каждой гармоники вносят эффекты Гиббса от гармоник, расположенных выше и ниже оцениваемой по оси частот, что является еще более трудно учитываемым фактором, так как вносимый суммарный эффект зависит от амплитуды каждой реально присутствующей компоненты сигнала.

В дополнение, наличие в сигнале реальных интергармонических составляющих, что отражено в работе [4], может привести к существенному их влиянию на результат анализа, особенно если эти компоненты расположены вблизи целочисленных гармоник.

Выводы. Основным параметром, влияющим на точность оценивания амплитуд спектральных составляющих сигнала, является частота основной гармоники, которую следует оценить до проведения гармонического анализа и использовать при построении модели сигнала. Далее необходимо учесть выявленные факторы и внести в спектр амплитуд связанные с ними поправки при дальнейшей оценке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ Р 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -М.: Изд-во стандартов, 1997. -44 с.

2 Марпл, С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С.Л. Марпл. -М.: Мир, 1990. -265 с.

3 Гришечко, С.В. Повышение эффективности контроля показателей качества электри-

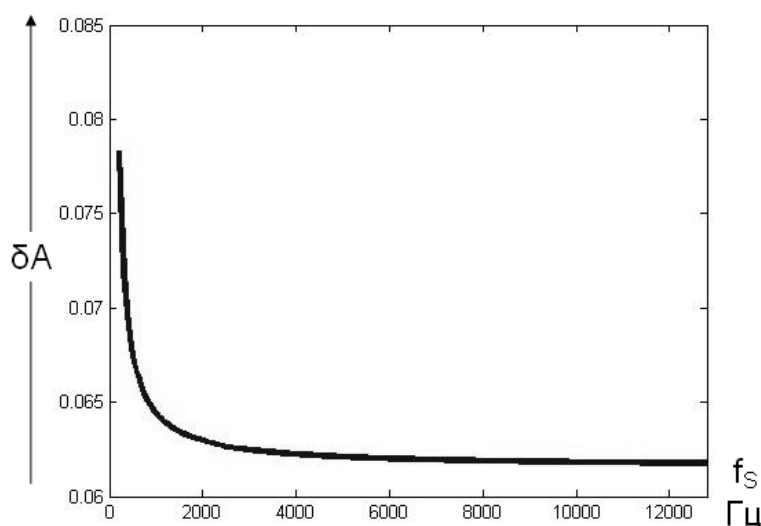


Рисунок 4 – Относительная погрешность определения амплитуды основной гармоники при различных значениях частоты дискретизации

ческой энергии систем электроснабжения нетяговых потребителей железной дороги: дис. ...канд. техн. наук / С.В. Гришечко. -Омск, 2008. -186 с.

4 Ханзелка, З. Интергармоники / З. Ханзелка, А. Бьень // Энергосбережение. -2005. -№5; 2006. -№3; 2006. -№4.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гармонический анализ, преобразование Фурье, моделирование, оценка погрешности
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Газизов Равиль Ильшатович, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К.Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ИНДУКТИВНО-КОНДУКТИВНЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ТЕРМОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

ТОО «ЭНСИ-Технологии»

ООО Научно-инновационный центр «Индукционное машиностроение»

А.И. Елшин, С.Ю. Ивликов, С.Л. Собин

INDUCTIVE-CONDUCTIVE DEVICES FOR THERMOMAGNETIC INFLUENCE TO OIL AND GAS

«Novosibirsk state academy of water transport»

«ENSI-technologies»

Scientifically-innovative centre «Induction mechanical engineering»

A.I. Elshin, S.Yu. Ivlikov, S.L. Sobin

The review of representations about influence of a thermomagnetic field on properties of oil and gas is given. Mass-dimensional parameters of inductive-conductive devices are submitted.

Keywords: inductive-conductive device, thermomagnetic influencing

Рассмотрена тепловая и магнитная обработка отложений в трубах и нефтяной эмульсии при добыче, транспорте и подготовке нефти и газа. Приведены массогабаритные параметры индуктивно-кондуктивных устройства для нагрева и омагничивания.

Первые опубликованные сообщения и патенты по магнитной обработке (МО) жидкости относятся к началу пятидесятих годов прошлого века [1]. Простота процедуры, состоящей в том, что поток жидкости пропускают через зазор между полюсами магнита (или через соленоид, питаемый электрическим током) стимулировала проведение экспериментальных работ на широком круге объектов. Поэтому в последующие годы МО применялась для водных растворов солей, нефти [2, 3], моторных топлив [4], растворов полимеров, цементных и буровых растворов и т.д.

В нефтегазовой отрасли применение магнитной обработки осуществляется в нескольких основных направлениях: борьба с асфальто-смолистыми и парафиновыми отложениями (АСПО), солеотложениями, предотвращение образования стойких эмульсий, снижение коррозионной активности перекачиваемых жидкостей.

Мероприятия по борьбе с осложнениями в нефтегазодобыче – отложениями солей, АСПО и эмульсеобразованием – с каждым годом становятся все более дорогостоящими ввиду роста цен на химические реагенты. Применение магнитной обработки позволяет значительно снизить расход химических реагентов, а в некоторых случаях – и полностью отказаться от химической обработки. Поздняя стадия разработки, на которой находится в настоящее время большинство нефтяных и газовых месторождений, в силу ряда известных причин способствует росту доли осложнений, связанных с эмульсеобразованием, АСПО и отложениями неорганических солей, имеющих место по всей технологической цепочке добычи, транспорта и подготовки нефти и газа.

Подъем скважинной жидкости, представляющей собой водогазонефтяную эмульсию, от продуктивного пласта к устью связан с изменением давления, температуры, скорости движения потока. Водогазонефтяная смесь – сложный конгломерат, эмульгированный турбулизацией потока в колонне насосно-компрессорных труб (НКТ), и включающий растворы тяжелых непредельных и гетероорганических соединений в нефти и сжатом газе, минеральных солей в воде, а также механических примесей. Качественная оценка процессов, происходящих в скважине, свидетельствует о главенствующей роли скорости движения потока. При

малых скоростях происходит образование АСПО и солеотложений, при высоких скоростях - образование эмульсий и повышение вязкости продукции.

При однородности состава потока во времени, процессы образования отложений происходят постоянно, а узкие пределы изменения давления и температуры, при которых происходит выпадение твердой фазы, приводят к лавинообразной адсорбции одного из компонентов растворов в определенном интервале скважины, что может привести к полному перекрытию сечения НКТ (рисунок 1).



Рисунок 1 – Асфальтосмолопарафиновые отложения в насосно-компрессорных трубах

Солеотложение в нефтедобыче происходит при любых способах эксплуатации скважин, однако наиболее негативные последствия имеют место при добыче нефти с помощью штанговых глубинных насосов (ШГН) и установок электропогружных центробежных насосов (ЭЦН). Наличие неорганических солей на поверхности рабочих органов насосов повышает их износ, приводит к заклиниванию и разрушению вала ЭЦН и штанг ШГН.

В газодобыче солеотложение происходит в НКТ, технологическом оборудовании сбора и подготовки газа.

Для предотвращения АСПО интерес к использованию магнитного поля значительно возрос в 1995-2001 гг., что связано с появлением на рынке широкого ассортимента высокоэнергетических магнитов на основе редкоземельных металлов.

Механизм воздействия магнитного поля на образование АСПО, согласно [5, 6], выглядит следующим образом: в движущейся жидкости происходит разрушение агрегатов, состоящих из субмикронных ферромагнитных микрочастиц соединений железа, находящихся при концентрации 10-100 г/т в нефти и попутной воде. В результате разрушения агрегатов кристаллы парафина выпадают в виде тонкодисперсной, объемной, устойчивой взвеси, а скорость роста отложений уменьшается пропорционально уменьшению средних размеров выпавших совместно со смолами и асфальтенами в твердую фазу кристаллов парафина.

Инжиниринговой компанией «Инкомп-нефть» г. Уфа освоено производство глубинных скважинных установок магнитной обработки жидкости типа УМЖ. Установка УМЖ представляет собой корпус из ферромагнитной трубы с присоединительными резьбами. На внутренней поверхности корпуса закреплены точечные постоянные магниты, залитые полимерной композицией [7].

Установка монтируется в колонну НКТ на прием ШГН или в требуемый участок колонны НКТ. При прохождении добываемой жидкости по корпусу она обрабатывается пульсирующим или знакопеременным магнитным полем. Для повышения эффективности магнитной обработки в реальных условиях скважины, разработана методика подбора оптимальных характеристик магнитного поля (частоты, формы и амплитуды изменения напряженности магнитного поля).

Применение установок УМЖ позволило увеличить средний межремонтный период скважин, осложненных эмульсией и АСПО, в среднем в 1,8 раза, а количество термических и химических обработок уменьшить в 5 раз.

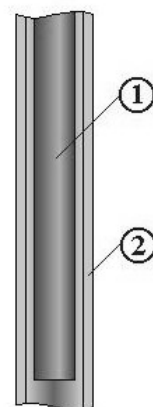


Рисунок 2 – Индуктивно-кондуктивное устройство нагрева и омагничивания (1-устройство нагрева и омагничивания; 2-насосно-компрессорная труба)

Во всех этих устройствах отсутствует тепловое воздействие на сформировавшиеся отложения скважины, не подвергающихся МО с начала эксплуатации.

Авторами предлагается установка индуктивно-кондуктивного типа для термической и магнитной обработки скважины (рисунок 2).

Погружной индуктивно-кондуктивный нагреватель оказывает одновременно термическое и магнитное воздействия переменным полем частотой 1000 Гц. Тепловое воздействие приводит к разплавлению АСПО при повышенной температуре и открытию сечения НКТ.

Технические характеристики погружного нагревателя ИПТ-4. Нагреватель предназначен для прогрева локальных участков НКТ до температуры 120 °С

Мощность потребляемая, кВт.....	4,2;
Тепловая мощность, Мкал/ч	3,2;
Напряженность магнитного поля, кА/м	45;
Питающее напряжение, В	380;
Номинальный ток, А	11;
Температура нагревателя, °С.....	130;
Габариты индуктора, мм	
– диаметр	55;
– длина	1100.

Обводнение продуктивных пластов нефтяных месторождений вызывает серьезные осложнения при добыче, сборе и подготовке нефти, связанные с образованием водонефтяных эмульсий [8]. В нефтедобыче всегда остро стояла проблема разделения высокостойких водонефтяных эмульсий в связи с недостаточно эффективным воздействием дезэмульгаторов. Для повышения эффективности дезэмульгатора, в особенности на высоковязкие и высокопрочные водонефтяные эмульсии, применяются различные методы:

- гравитационное холодное разделение (отстаивание);
- фильтрация;
- разделение в поле центробежных сил (центрифугирование);
- электрическое воздействие;
- термическое воздействие;
- внутритрубная дезэмульсация;
- воздействие магнитного поля.

Образование стойких эмульсий снижает показатели безотказности работы насосных установок из-за увеличения количества обрывов штанг ШГНУ, пробоев электрической части УЭЦН вследствие перегрузок погружного электродвигателя. Рост давления жидкости в системах сбора нефти и газа влечет за собой порывы коллекторов. Затрудняются сепарация газа и предварительный сброс воды. Однако наибольший рост энерго- и металлоемкости, связанный с необходимостью разрушения стойких эмульсий, имеет место в системах подготовки нефти.

Изначально эмульсия представляет собой субстанцию класса «нефть в воде» или «вода в нефти», причем на границах раздела фаз образуются так называемые «бронирующие оболочки», предотвращающие саморазрушение эмульсии. Молекулы дезэмульгатора, адсорбируясь на поверхности раздела фаз, вытесняют менее поверхностно-активные природные эмульгаторы. Однако, хотя пленка, образуемая дезэмульгатором, обладает малой прочностью, действия сил тяжести недостаточно для обеспечения быстрого осаждения и коалесценции мелких капелек [9].

Для ускорения процесса адсорбционного замещения используется повышение температуры отстаиваемой эмульсии [5]. Термическое воздействие на водонефтяные эмульсии заключается в том, что нефть, подвергаемую обезвоживанию, перед отстаиванием нагревают до температуры 45-80 °С. При нагревании уменьшается прочность слоев эмульгатора на поверхности капель, что облегчает их слияние. Кроме того, уменьшается вязкость нефти и увеличивается разница плотностей воды и нефти, что способствует быстрому разделению эмульсии. Подогрев осуществляют в резервуарах, теплообменниках и трубчатых печах.

Решить эту же проблему позволяет магнитная обработка эмульсии. Применение магнитного поля вызывает поляризацию капелек воды и их взаимное притяжение, что приводит к значительному ускорению коагуляции и коалесценции капелек воды и их быстрому отстою. Наиболее эффективна магнитная обработка эмульсии после добавления в нее дезэмульгатора [10].

Электромагнитные установки УМП (ТУ 39-80400-007-99) для магнитной обработки водо-

нефтяных эмульсий разработаны Инжиниринговой компанией «Инкомп-нефть». Установки УМП содержат индуктор, состоящий из обмотки и магнитопровода, изготовленного из трансформаторного железа, между полюсами которого помещена труба из нержавеющей стали, внутри которой размещена вставка из трансформаторного железа – магнитный сердечник. На обмотку от блока управления подаются импульсные или синусоидальные колебания с фиксированными частотами от 10 до 100 Гц. Поток нефтяной эмульсии обрабатывается переменным магнитным полем, направленным поперек потока. Деэмульгаторы наиболее эффективно работают совместно с магнитной обработкой импульсным изменением напряженности магнитного поля. Установки позволяют снизить расход деэмульгатора на 10-20%.

Авторы предлагают использовать индуктивно-кондуктивные подогреватели проточной нефти и эмульсии с одновременным омагничиванием переменным полем промышленной частоты.

Устройство предназначено для подогрева нефти, нефтепродуктов, минеральных масел, эмульсий, мазута и других жидких продуктов до 100 °С. В подогревателе использован индуктивно-кондуктивный нагрев с удельной тепловой нагрузкой не более 2 Вт/см².

Одновременно с подогревом осуществляется омагничивание жидкости магнитным полем напряженностью 20 кА/м промышленной частоты (рисунок 3).

Технические характеристики устройства для нагрева и омагничивания сведены в таблице.



Рисунок 3 – Индуктивно-кондуктивное устройство для термоманитного воздействия

Таблица – Технические характеристики устройств для нагрева и омагничивания

Наименование параметра	Обозначение	Численное значение	
Мощность потребляемая	кВт	48	192
Тепловая мощность	Мкал/ч	40	160
Номинальное напряжение	В	380/220	380/220
Число фаз	–	3	3
Частота	Гц	50	50
Коэффициент мощности		0,98	0,98
Габариты устройства (высота×диаметр)	мм	1200×760	1300×1100
Рабочее давление	МПа	1,0	1,0
Максимальное давление	МПа	1,6	1,6
Расход продукта при нагреве на 45 °С	м ³ /ч	1,85	7,6
Масса	кг	295	780

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Классен, В.И. Омагничивание водных систем / В.И. Классен. -М.: Наука, 1982. -296 с.
- 2 Шайдаков, В.В. Предупреждение образования отложений и эмульсеобразования в нефтяных и газовых скважинах / В.В. Шайдаков, А.В. Емельянов, К.В. Чернова [Электронный ресурс] // Laboratory.ru: сб. тр. по науке и технике. -Режим доступа: www.laboratory.ru/article/geogl/ag100r.htm.
- 3 Чернова, К.В. Развитие и перспективы применения магнитного воздействия на скважинную продукцию в нефтедобыче / К.В. Чернова. -Уфа: Монография, 2005. -108 с.
- 4 Устройство магнитно-резонансной обработки топлива «FuelMax» [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://fuelmax.tehno.ru>.
- 5 Персиянцев, М.Н. Добыча нефти в осложненных условиях / М.Н. Персиянцев. -М.: Недра-Бизнесцентр, 2000. -653 с.: ил.
- 6 Тронов, В.П. Механизм образования смоло-парафиновых отложений и борьба с ними / В.П. Тронов. -М.: Недра, 1970. -192 с.
- 7 Аппараты для магнитной обработки жидкостей / Н.В. Инюшин [и др.]. -М.: Недра-

Бизнесцентр, 2001. -144 с.

8 Антипин, Ю.В. Предотвращение осложнений при добыче обводненной нефти / Ю.В. Антипин, М.Д. Валеев, А.Ш. Сыртланов. -Уфа: Башк. кн. изд-во, 1987. -168 с.

9 Влияние магнитной обработки на водонефтяные эмульсии ТПП «Когалымнефтегаз» / В.В. Шайдаков, А.Б. Лаптев, Н.В. Инюшин, Д.М. Халитов, Л.Е. Каштанова; УГНТУ. -Уфа, 2001. -10 с. -Деп. в ВИНТИ 07.05.01, №1173-В 2001.

10 Хайдаров, Ф.Р. Повышение долговечности промысловых трубопроводных систем путем регулирования свойств перекачиваемых жидкостей методами магнитной обработки: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Хайдаров, Ф.Р.; Уфим. гос. нефтяной техн. ун-т. -Уфа, 2002. -24 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: индуктивно-кондуктивный аппарат, термомагнитное воздействие
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Елишин Анатолий Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГавт»
Ивликов Сергей Юрьевич, канд. техн. наук, директор ТОО «ЭНСИ-технологии»
Собин Сергей Леонидович, канд. техн. наук, ведущий инженер 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»

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АМПЛИТУД ГАРМОНИК ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

В.С. Циркин

NEW REQUIREMENTS FOR METHODS OF MEASUREMENT, NOMENCLATURE AND ACCURACY OF ELECTRIC POWER QUALITY RATING

«Omsk state transport university»
V.S. Tsirkin

The state standard specification 51371.4.30 is analyzed.

Keywords: quality of electrical energy, quality rating measurement, measuring tool, transient process

Рассматривается ГОСТ Р 51371.4.30, производится анализ его основных положений.

В настоящее время объекты железнодорожного транспорта являются одними из крупнейших потребителей электроэнергии, качество которой напрямую влияет на эксплуатацию основных средств: сокращение срока службы изоляции электрических машин и аппаратов; ухудшение работы батарей конденсаторов в компенсирующих устройствах; сбои работы систем управления, релейной защиты автоматики, телемеханики, связи и вычислительной техники.

В свою очередь, обеспечивая высокие тягово-энергетические характеристики, эксплуатируемый на сети железных дорог переменного тока, электроподвижной состав оказывает влияние на качество электроэнергии в питающих сетях. В то же время способность электрооборудования электроподвижного состава выполнять свои функции зависит от качества электроэнергии питающей системы [1].

До недавнего времени единственным в стране нормативным документом, устанавливающим основные положения в области качества электроэнергии, являлся ГОСТ 13109-97. Он разработан более 10 лет назад и нуждался в пересмотре для учета требований международных стандартов. В 2008 г. Международной электротехнической комиссией (МЭК) были опубликованы два основополагающих документа, относящихся к вопросам качества электрической энергии (КЭ), – Международный стандарт МЭК 61000-4-30:2008 (2-е изд.) и Изменение 1 (2008 г.) Международного стандарта МЭК 61000-4-7:2002 (2-е изд.). Публикация данных документов свидетельствует о повышенном внимании за рубежом к проблемам качества электрической энергии, а также о том, что специалисты многих стран, участвующие в работе технического комитета ТК 77 МЭК, выработали согласованные требования к составу показателей КЭ, точности их измерений, методам измерений, характеристикам средств измерений, оценке КЭ по результатам измерений, организации мониторинга КЭ [2]. Естественно, вводимые в Российской Федерации новые стандарты должны были учитывать положения принятые на международном уровне. Таким образом, в 2008 году были разработаны и

вступили в силу с 01.01.2010 г. новые стандарты: ГОСТ Р 51317.4.30 [3] и ГОСТ Р 51317.4.7 [4], регламентирующие методы измерения показателей КЭ. Первый стандарт описывает методы измерения основных показателей КЭ, второй целиком посвящен измерению гармоник.

Главной целью данной статьи является краткий анализ положений ГОСТ Р 51317.4.30, основных отличий от положений применяемых в Российской Федерации в настоящее время, а также значение данного стандарта для работ по оценке и мониторингу качества электроэнергии на объектах железнодорожного транспорта.

По сравнению с ГОСТ 13109-97, новый стандарт более детально описывает методы измерения и объединения показателей КЭ с целью обеспечения надежных результатов измерения и их повторяемости для различных производителей средств измерения (СИ).

Стандарт ГОСТ Р 51317.4.30 определяет несколько классов характеристик СИ: Класс А («advanced»), Класс S («survey») и класс В («basic»). Класс А применяется при проведении точных измерений, например, при проверке соответствия стандартам, устанавливающим нормы КЭ. Класс S допускается применять при проведении обследований и непрерывного мониторинга, при оценке КЭ с использованием статистических методов, в том числе при ограниченной номенклатуре показателей. Третий класс В установлен для того, чтобы избежать признания СИ многих существующих типов устаревшими.

Требуемая точность измерений для Класса А немного возросла по сравнению с ГОСТ 13109-97. Например, точность измерения частоты возросла с 0,03 Гц до 0,01 Гц, напряжения и установившегося отклонения напряжения с 0,5% до 0,1%. Требования к точности измерений касаются теперь только погрешностей самого СИ, и не включают погрешность измерительных преобразователей. Точность измерений Класса S ниже требований стандарта ГОСТ 13109-97. Таким образом, показатели точности отечественных приборов превышают требования к точности измерений, установленные для класса S, но «не дотягивают» до требований к точности измерений по классу А (представлено на рисунке 1).

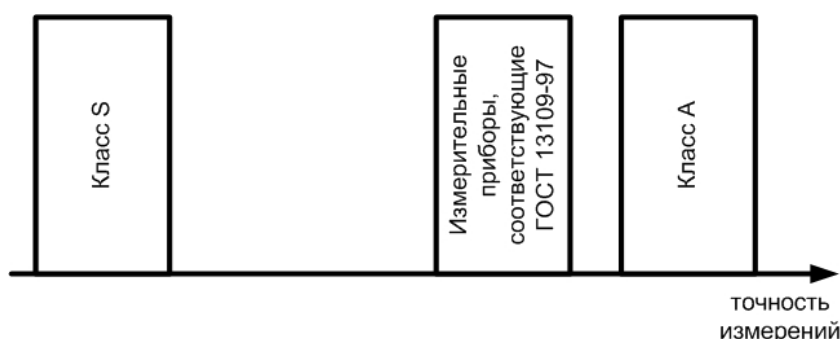


Рисунок 1 – Требования к точности измерений

В результате вышеизложенного можно сказать, что требования к точности по классу S ниже, чем по классу А, таким образом новый стандарт предполагает создание нового класса дешевых и массовых приборов для непрерывного мониторинга показателей КЭ, которые в данный момент не производятся в РФ. Средства измерений показателей КЭ класса S могут найти широкое применение на железной дороге в составе различных систем диагностики и мониторинга, при условии что разработчиками и изготовителями будет обеспечена их приемлемая стоимость.

Состав показателей КЭ, описанный в ГОСТ Р 51317.4.30, в целом аналогичен предыдущему стандарту, в него входят:

- частота в системе электроснабжения;
- значение напряжения системы электроснабжения;
- параметры провалов и прерывания напряжения, перенапряжения;
- параметры переходных процессов напряжения;
- несимметрии напряжений;
- гармоники и интергармоники напряжения;
- установившемуся отклонению напряжения;
- доза фликера.

В новом стандарте добавилось измерение информационных сигналов в диапазоне частот от 3 кГц до 30 МГц. Наибольшие различия связаны с измерением отклонения напряжения от номинального значения в электрической сети. Если раньше отклонение рассчитывалось для действующего значения напряжения основной частоты, то теперь – для среднеквадратичного напряжения с учетом гармоник, интергармоник, информационных сигналов в электрических сетях и т.д. В качестве опорного напряжения при вычислении отклонения напряжения, может использоваться либо номинальное значение напряжения, либо опорное

напряжение сравнения, получаемое усреднением измеряемого напряжения с постоянной времени 1 мин.

Изменения коснулись объединения (раньше этот процесс назывался усреднением) результатов измерения. ГОСТ Р 51317.4.30 использует единый ряд интервалов объединения: 200 мс, 3 с, 10 мин и 2 ч для всех измеряемых параметров. При объединении интервалов вычисляется квадратный корень из среднего значения квадратов объединяемых значений. Для класса А пропуски интервалов измерения не допускаются.

Новый стандарт вводит концепцию маркирования измеряемых значений, предназначенную для того чтобы избежать учета единственного события более чем один раз и получения недостоверных результатов измерения. При обнаружении провалов или выбросов напряжения, остальные измеряемые параметры маркируются. При объединении маркированных измеряемых значений, результаты объединения так же маркируются.

Ещё одной особенностью нового ГОСТ Р 51317.4.30 является введение нового приложения, содержащего рекомендации по измерительным приборам. В электросети железных дорог происходит большое количество коммутаций, которые вызывают происхождение переходных процессов. В приложении существует раздел А.4, который распространяется на переходные процессы напряжения и тока.

В качестве методов обнаружения переходных процессов ГОСТ Р 51317.4.30 предлагает:

- метод сравнения, основанный на превышении фиксированного абсолютного порогового значения;
- метод огибающей, подобный методу сравнения, но с исключением основной составляющей перед анализом;
- метод скользящего окна, при котором мгновенные значения сравнивают с соответствующими значениями предыдущего периода;
- метод измерения, основанный на превышении текущим значением абсолютного порогового значения;
- метод измерения среднеквадратического значения, основанный на использовании высокой частоты отсчетов, вычислении среднеквадратического значения для интервалов времени много меньше периода основной частоты и сравнении полученного результата с пороговым значением;
- другие методы, основанные на представлении сигнала в частотной области (дискретное или быстрое преобразование Фурье, вейвлет-анализ и т.д.).

Таким образом в новых национальных стандартах установлены фундаментальные положения, принятые международным сообществом и рекомендуемые для применения в работах по обеспечению КЭ. Стандарт ГОСТ Р 51317.4.30 содержит приложение, рассматривающее методики измерения показателей КЭ, а также должен способствовать появлению нового класса приборов с низкой стоимостью, предназначенных для применения в системах мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Марквардт, К.Г. Электроснабжение электрофицированных железных дорог / К.Г. Марквардт. -М., 1982.

2 Балаков, Ю.Н. Значение новых стандартов ГОСТ Р 51317.4.30-2008 (МЭК 61000-4-30:2008) и ГОСТ Р 51317.4.7-2008 (МЭК 61000-4-7-2002) для работ по оценке и мониторингу качества электрической энергии / Ю.Н. Балаков // Энергобезопасность и энергосбережение. -М., 2009. -№4(28). -С. 10-14.

3 ГОСТ Р 51317.4.30-2008. Методы измерений показателей качества электрической энергии.

4 ГОСТ Р 51317.4.7-2008. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *качество электрической энергии, измерение показателей качества, средство измерения, переходный процесс*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Циркин Виталий Степанович, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644046, г. Омск, пр. К.Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТИ СИНХРОННЫХ МАШИН В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.Ф. Тонышев

IDENTIFICATION OF INSTABILITY SYNCHRONOUS MACHINES IN THE POWER SYSTEM
«Novosibirsk state academy of water transport»
V.F. Tonyshev

A method for determining the instability of synchronous machines based on fuzzy algorithms has been considered.

Keywords: stability of power systems, identification of asynchronous modes of synchronous machines

Приведен метод определения неустойчивости синхронных машин на основе нечетких алгоритмов.

Одной из часто возникающих аварийных ситуаций в энергосистеме является асинхронный режим мощных синхронных генераторов. Асинхронный режим опасен как для синхронной машины, так и с точки зрения возможности развития локальной аварии в системную с нарушением устойчивости отдельных её энергорайонов. Поэтому необходимо точно и быстро опознавать выявительными органами соответствующих защит подобные аномальные режимы и ликвидировать их, например, отключением синхронных машин (СМ), перешедших в асинхронный режим (АР).

Асинхронные режимы, рассматриваемые ниже, можно классифицировать [1] как асинхронный режим в синхронной машине и асинхронный режим в линии связи – асинхронный ход, то есть для схемы машина-трансформатор, линия-ШБМ.

Как известно [2], местоположением конца вектора тока в асинхронном режиме токовая частотная характеристика (рисунок 1).

Здесь изображена область нормальных эксплуатационных режимов СМ при допущении, что $U = 1$, то есть $P_e = U^2 \operatorname{Re} Y_e = \operatorname{Re} Y_e = \operatorname{Re} I_e$, $Q_e = U^2 \operatorname{Im} Y_e = \operatorname{Im} Y_e$, то есть ось $\operatorname{Re} Y$ является и осью активной мощности, а ось $\operatorname{Im} Y$ осью реактивной мощности.

Приведенные частотные характеристики генератора ТГВ-200 построены по данным ВНИИЭМ.

Частотные характеристики генератора соответствуют работе генератора на шины бесконечной мощности (ШБМ), то есть при внешнем сопротивлении $x_{вн} = 0$ (суммарные сопротивления трансформаторов, линий и т.д.). Для упрощения анализа построим среднюю частотную характеристику $Y_{ср}$ между характеристиками с разомкнутой и замкнутой обмоткой возбуждения. В этом случае при полной потере возбуждения местоположение тока генератора – токовая частотная характеристика генератора. Например, для точки a_1 , при наличии остаточного возбуждения местоположение конца вектора полного тока перемещается по окружности с центром в точке a_1 , образованной вращением вектора тока ΔI_E , радиус которой определяется уровнем остаточного возбуждения. В реальных синхронных машинах следует учитывать ΔI от различия проводимости синхронной машины по продольной и поперечной оси ротора.

Из рисунка 1 видно, что при $x_{вн} = 0$ во всем диапазоне возможных скольжений при номинальном возбуждении конец вектора I_e (тока статора), например для точки a_2 , находится на частотной характеристике генератора. Это соответствует действительному положению вещей, то есть при $x_{вн} = 0$ электрический центр качаний (ЭЦК) всегда расположен внутри зажимов генератора. При увеличении $x_{вн}$ до значения $x_{вн} = 0,12$ и более при асинхронном режиме с номинальным уровнем возбуждения ($I_{возб} \approx 2,5$ о.е.) ЭЦК выходит за пределы частотной характеристики то есть противоаварийная автоматика должна фиксировать асинхронный ход, даже при положении точки a_3 при $s \rightarrow 0$ на средней частотной характеристике $Y_{ср}$.

С учетом изложенного выявление асинхронного режима синхронных машин, либо асинхронного хода, зависит от уровня возбуждения генератора, вида частотных характеристик, уровня возбуждения, величины внешнего сопротивления, то есть является весьма сложной

задачей и жестко заданные уставки защит от асинхронного режима (ЗАР) не обеспечивают селективность.

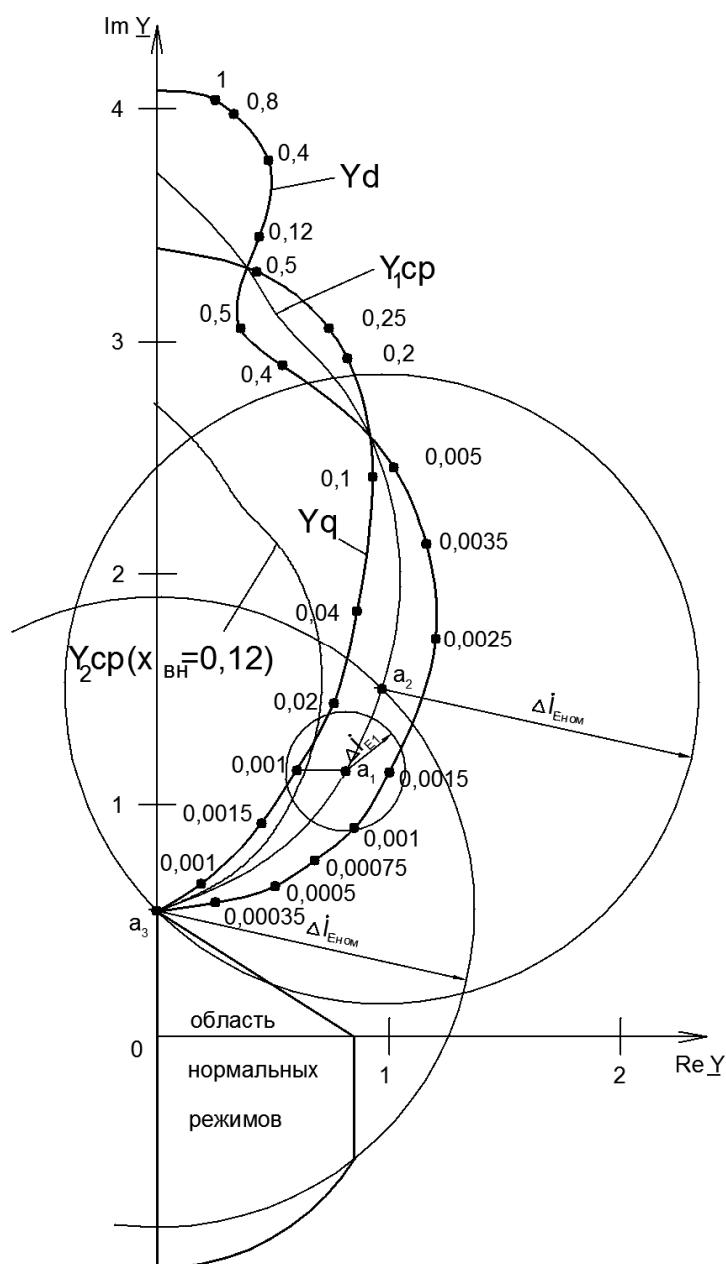


Рисунок 1 – Токовая частотная характеристика

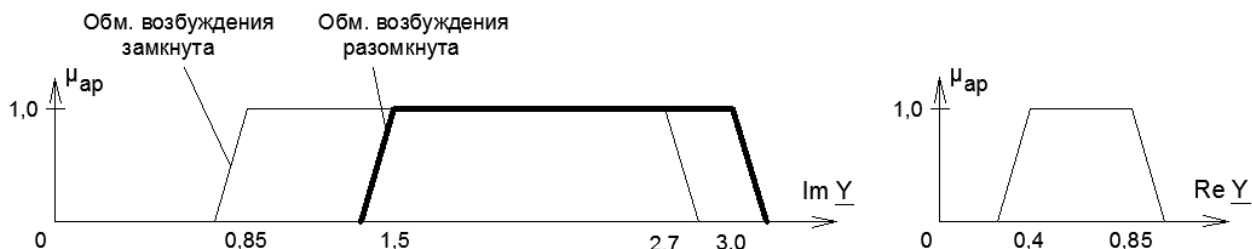


Рисунок 2 – Функции принадлежности возникновения АР режима генератора

Для повышения селективности идентификации неустойчивости генератора получены функции принадлежности возникновения АР режима генератора (рисунок 2). На основе нечеткого алгоритма сформированы уставки ЗАР.

Результаты идентификации одного из АР с использованием осциллограмм натурального эксперимента (при инвертировании возбуждения) приведены на рисунке 3.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА
А.С. Овсянников, Н.А. Килина

ПРИВЕДЕНИЕ СИСТЕМЫ ОПЛАТЫ ПЛАВСОСТАВА ОАО «ЗАПАДНО-СИБИРСКОЕ РЕЧНОЕ ПАРОХОДСТВО» В СООТВЕТСТВИЕ С ТРЕБОВАНИЯМИ РЫНКА ТРУДА	3

В.Е. Верютина

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОПЕРАТИВНЫХ БРИГАД «ТРУДОВОЙ КОМПАНИИ»	7

А.В. Зачёсов

СОСТОЯНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛЫХ РЕК СИБИРИ В ПЕРИОД ФОРМИРОВАНИЯ РЫНОЧНЫХ ОТНОШЕНИЙ	10

И.С. Дерябина

ОПЕРАТИВНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ НА РЕЧНОМ ТРАНСПОРТЕ	14

А.А. Бойко, Н.В. Бахмарева

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ПРОЦЕССНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВОМ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ ОРГАНИЗАЦИИ	17

Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, А.С. Талызин, Е.И. Селиванов, Н.В. Есин

АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА НА ПЕРЕГОНЕ С ПОМОЩЬЮ КВАДРАТУРНЫХ ФОРМУЛ	21

А.В. Зачёсов, И.С. Дерябина

ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ И РАБОТЫ ФЛОТА НА МАЛЫЕ РЕКИ В НОВЫХ УСЛОВИЯХ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ	23

А.О. Самбур

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ЛИЗИНГОВОЙ КОМПАНИИ С ГОСУДАРСТВЕННЫМ УЧАСТИЕМ ДЛЯ ОБНОВЛЕНИЯ РЕЧНОГО ФЛОТА СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА	27

Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, В.В. Бублик, Е.И. Селиванов, Д.В. Мурзин, Д.В. Юрасов

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И РЕМОНТА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВЛ10	31

А.Ю. Платов, А.В. Хорошева

МЕТОД КРАТКОСРОЧНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ ГРУЗОВОГО ФЛОТА В УСЛОВИЯХ НЕРЕГУЛЯРНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА	35

А.В. Хорошева

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОГЛАСОВАНИЯ РАБОТЫ СУДОВ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕВАЛКИ ГРУЗОВ В УСТЬЕВЫХ ПОРТАХ	38

В.Я. Ткаченко, А.Г. Иванов

ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА СЕВЕРО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НА БАЗЕ КОНЦЕССИИ	42

В.Д. Верескун, В.С. Воробьев, М.Ю. Квинт, К.В. Катылымова ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ В ПУТЕВОМ ХОЗЯЙСТВЕ	46
В.А. Щербаков, Н.А. Щербакова СТОИМОСТНЫЙ АНАЛИЗ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ – ЕСТЕСТВЕННОЙ МОНОПОЛИИ	49
В.А. Щербаков, Г.Л. Русин, Н.А. Щербакова СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА	52
М.В. Пак СТРАТЕГИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СИБИРИ ДО 2020 г.: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОЛИТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ	57
А.П. Дементьев ОРГАНИЗАЦИЯ ВЗАИМОРАСЧЕТОВ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ФИЛИАЛОВ ОАО «РЖД» И СОБСТВЕННИКОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕКУЩЕГО ОТЦЕПОЧНОГО РЕМОНТА	59
А.П. Дементьев, М.М. Рассказова АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ ОБЪЕМА ПЕРЕВОЗОК	61
А.В. Симонов СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОАО «ЕНИСЕЙСКОЕ РЕЧНОЕ ПАРОХОДСТВО»	64
Н.Б. Попова, М.С. Чикина ТРАНСПОРТНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ КАК ОСНОВА ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ	66
ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО	
А.М. Островский, Е.М. Кучкина ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ТАРУ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ	70
В.С. Наумов, А.Н. Каленков ПРОБЛЕМА ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ ТЕМНЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ	75
В.Я. Ткаченко, К.И. Сидорова К УЧЕТУ ВЛИЯНИЯ СРЕДЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	78
В.Д. Верескун, В.С. Воробьев ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА МЕТОДОМ КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА	80
Н.М. Зайцева, Б.Б. Исабекова, М.Я. Клецель РАСЧЕТ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА С УЧЕТОМ КОЛЕБАНИЙ ЕГО ТЕМПЕРАТУРЫ	84

И.М. Головачев

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ».....	87

В.В. Турбинский, В.А. Хмелев

СТЕПЕНЬ ЗАЩИЩЕННОСТИ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ	90

СУДОВОЖДЕНИЕ

Г.Г. Холодов, В.И. Меньшиков

МОДЕЛЬ ОПЕРАТОРА В СИСТЕМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СУДНА.....	94

Д.А. Оськин, В.В. Глазунов, С.А. Воробьёва

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МОРСКИХ СУДОВ ДЛЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ	96

Д.А. Оськин, В.В. Глазунов

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИВНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ МОРСКИХ СУДОВ.....	99

М.Э. Францев

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУДНА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА, КАК СПОСОБ ПЕРЕХОДА ОТ ВНЕШНЕЙ ЗАДАЧИ К ФОРМИРОВАНИЮ ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СУДНА И ИЕРАРХИИ ПОДСИСТЕМ.....	103

В.П. Умрихин, С.В. Петровский

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫХОДА СУДНА ИЗ ЗОНЫ РЕЗОНАНСНОЙ КАЧКИ	107

В.В. Вьюгов, М.Н. Романов

АДАПТАЦИЯ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА К УСЛОВИЯМ ОПЫТОВОГО БАССЕЙНА.....	110

Е.П. Роннов, Ю.А. Кочнев

МЕТОДИКА РАСЧЁТА МАССЫ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОРПУСА ТАНКЕРА СМЕШАННОГО (РЕКА-МОРЕ) ПЛАВАНИЯ	114

Ю.А. Комаровский

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ОСТАНОВКИ СУДНА ПО ВАРИАЦИИ ПУТЕВОГО УГЛА ПРИЁМНИКА GP-37.....	118

В.А. Кац, Ю.А. Комаровский

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПЛАНОВЫХ КООРДИНАТ GPS-ПРИЁМНИКА GP-270ML КОНТУРНЫМ МЕТОДОМ	124

Ю.Н. Черепанов

ВЛИЯНИЕ НЕРОВНОСТИ ФАРВАТЕРА НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ КОРПУСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА.....	128

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

С.В. Викулов

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ МЕТОДОМ ИССЛЕДОВАНИЯ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ.....	131

В.А. Глазырин, А.С. Ненишев, К.Н. Ахметов РАЗРАБОТКА СХЕМ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ДЛЯ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ СРЕДНЕЙ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ	133
О.В. Щербакова, М.К. Романченко ЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ ОТ СТРУКТУРНОГО ШУМА.....	137
В.П. Пушкин, А.А. Костюшкина КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К УЛАВЛИВАНИЮ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ДИЗЕЛЬНОЙ САЖИ	140
В.И. Кузьмин, А.А. Михальченко, Е.В. Картаев, А.И. Бекетов, С.Н. Иванчик, И.С. Иванчик, Р.В. Исаенко СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ МЕЖФАЗНОГО ОБМЕНА ТЕПЛОМ И ИМПУЛЬСОМ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ	143
А.А. Воробьев, И.А. Иванов, А.А. Соболев РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА.....	146
В.В. Руднев ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА.....	149
А.А. Смолин, Е.С. Терещенко РЕКУПЕРАЦИОННЫЙ ВОЗДУШНО-ГИБРИДНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА.....	153
Ю.В. Борисенко ПЕРСПЕКТИВНЫЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	156
Г.П. Кича, А.В. Надежкин, Г.Г. Галстян ОПТИМИЗАЦИЯ ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ СЕТОК ДЛЯ ОЧИСТКИ ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СУДАХ	159
Г.А. Гаук ВЛИЯНИЕ УГАРА МОТОРНОГО МАСЛА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ЕГО СТАРЕНИЯ В СУДОВОМ ДИЗЕЛЕ	165
В.А. Михеев К ВОПРОСУ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ДИЗЕЛЬ- ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ТЕПЛОВОЗА.....	170
П.Г. Сафронов, С.А. Иванов, А.Г. Батухтин, И.Ю. Батухтина СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЭЦ	175
О.П. Шураев МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СУДОВЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМ ДИЗЕЛЯ	178
С.А. Иванов, П.Г. Сафронов ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВКЛЮЧЕНИЯ ВЫНОСНОГО ПАРООХЛАДИТЕЛЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ПО СЕТЕВОЙ ВОДЕ В КОМПЛЕКСЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	182

Ю.В. Дорфман, В.В. Пинигин

РАЗРАБОТКА АДДИТИВНОГО СПОСОБА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕОЛИТОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ОТ КОТЛОВ С ФАКЕЛЬНЫМ СЖИГАНИЕМ ТОПЛИВА	186

А.Г. Батухтин

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УВЕЛИЧЕНИЯ РАСПОЛАГАЕМОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	189

Т.И. Тарнопольская

МЕТОД КВАЗИКООРДИНАТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОГО КОЛЕСНОГО СРЕДСТВА С УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ	192

А.В. Бастерс, Б.О. Лебедев

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ЗАРЯДА ДИЗЕЛЯ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ	196

В.В. Руднев, М.Л. Хасанова, К.Б. Нестеров

КОМБИНИРОВАННЫЕ СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГОРОДСКОГО АВТОМОБИЛЯ	202

Д.В. Нефедов

РЕГУЛЯТОРЫ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМ КАК ОСНОВА УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБРАЗЦОВ РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ	205

А.Г. Батухтин, В.В. Петин, И.Ф. Суворов

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	209

Д.В. Шабалин, В.В. Руднев, Д.Е. Девяткин

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТОПЛИВА	212

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
А.Н. Шпиганович, П.В. Буев

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ НЕГАТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ	216

Е.П. Зацепин, Ю.А. Шурыгин

СОГЛАСОВАНИЕ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК С РЕЗКОПЕРЕМЕННЫМ ГРАФИКОМ НАГРУЗКИ	218

С.А. Филимонов

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ УТЕЧКИ	222

В.И. Зацепина, И.Г. Шилов, А.Н. Мамонтов

КОМПЛЕКС ГИБРИДНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТ ИСКАЖЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ	225

А.Н. Шпиганович, К.Д. Захаров; К.А. Пушница

АНАЛИЗ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ	228

Т.Г. Красильникова	
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОДНОФАЗНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЯХ.....	232
С.М. Зильберман, Т.Г. Красильникова, Г.И. Самородов	
СИММЕТРИРОВАНИЕ НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА В ТРЁХФАЗНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ.....	235
В.А. Кондратьев	
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СИЛЫ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССАХ.....	238
В.И. Зацепина	
РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ БЕЗОТКАЗНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕГАТИВНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ	244
Л.И. Малинин, В.А. Кондратьев, В.Л. Малинин	
АНАЛИЗ СИЛ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МЕХАНИЗМА ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	247
С.А. Лунев, Р.Ш. Аюпов, М.М. Соколов	
КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕТЯГОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	254
Н.Н. Лизалек, А.Н. Ладнова, В.Ф. Тонышев	
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМНОГО УРОВНЯ ДЛЯ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ	257
Г.П. Маслов, В.В. Свешников, Г.Ю. Севастьянов	
ВЫБОР ДЛИН ПРОЛЕТОВ В АНКЕРНОМ УЧАСТКЕ ПОЛУКОМПЕНСИРОВАННОЙ КОНТАКТНОЙ ПОДВЕСКИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	266
С.М. Асосков, В.В. Горелов, В.П. Горелов, Ю.М. Иванова, К.С. Мочалин, А.А. Руппель	
ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 10 кВ С РАЗЛИЧНЫМИ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ.....	269
К.Р. Халиков	
ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ ТОКОПРИЕМНИКОВ С КОНТАКТНЫМИ ПОДВЕСКАМИ В ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЛЕТАХ СОПРЯЖЕНИЙ АНКЕРНЫХ УЧАСТКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	272
А.Б. Власов, С.А. Буев	
ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СУДОВ И БЕРЕГОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ МЕТОДОМ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ.....	276
В.В. Горелов, Е.Ю. Кислицин, В.А. Коновалов, О.Е. Малаенко, В.Г. Сальников, Л.Н. Татьянченко	
КОНДУКТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОМЕХИ В ЗАМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 35 кВ.....	279
Ю.В. Дёмин, А.И. Мозилов, Г.В. Иванов	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	282

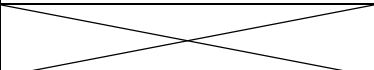
Ю.В. Дёмин, Н.А. Сычева, А.И. Мозиллов, М.В. Воронов, Д.С. Скотников, С.В. Ивашкин	
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ	288
Ш.К. Исмаилов, А.С. Талызин, Н.В. Есин	
СПОСОБ УЧЕТА ВРЕМЕНИ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОВОЗА ВЛ10 ПО СЦЕПЛЕНИЮ	291
А.Н. Сычугов	
КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЕНСАТОРОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ	295
В.А. Васильев	
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УСТРОЙСТВА ТЯГОВОГО ПРИВОДА С ЕМКОСТНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ	298
Б.Б. Утегулов, Ж.Б. Исабеков	
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ В СИММЕТРИЧНЫХ СЕТЯХ 0,4 кВ	301
И.М. Дроздов	
АНАЛИЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ГРАНУЛАМИ СУХОГО ЛЬДА	303
В.Ю. Гросс, Е.Г. Гурова	
АППРОКСИМАЦИЯ ЗАКОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕСТРОЙКИ КОМПЕНСАТОРА ЖЁСТКОСТИ	307
М.Я. Клецель, А.С. Стинский, К.Т. Шахаев, К.И. Никитин	
ПОСТРОЕНИЕ РЕЗЕРВНЫХ ЗАЩИТ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРВОГО ЗАКОНА КИРХГОФА	309
Д.В. Нефедов, Р.Р. Шарипов	
ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ В РАЗЛИЧНЫЕ МОМЕНТЫ ВРЕМЕНИ РАБОТЫ	312
Д.В. Нефедов, Р.Р. Шарипов	
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННОГО ПОДВИЖНОГО МОДУЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ	317
Ю.А. Рылов, Е.Л. Степанов, О.А. Филина	
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСА ЭЛЕКТРОЩЁТОК ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН	320
М.Е. Вильбергер, О.Л. Волкова, Е.В. Олейникова, А.А. Степанов	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МНОГОПУЛЬСНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ	323
Н.И. Щуров, Е.Л. Степанов, М.Е. Вильбергер, С.В. Мятаж, Б.В. Малоземов	
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОЛЛЕКТОРНО-ЩЕТОЧНОГО УЗЛА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ	326

Н.И. Щуров, О.Л. Волкова, С.А. Евдокимов, А.А. Степанов КОЛЬЦЕВЫЕ СХЕМЫ ВЫПРЯМЛЕНИЯ ДЛЯ 12 n-ФАЗНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ	329
С.М. Асосков, М.Г. Вишнягов, Е.В. Иванова, В.И. Клеутин, А.А. Руппель, А.А. Сидоренко К ПРОБЛЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ НЕКАЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	333
Б.Б. Утегулов, Ж.Б. Исабеков РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИИ ИЗОЛЯЦИИ В СИММЕТРИЧНЫХ СЕТЯХ 0,4 кВ.....	336
В.А. Кандаев, К.В. Авдеева, А.М. Ерита РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ И ПОТЕНЦИАЛОВ В СИСТЕМЕ ДВУХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДНИКОВ С УЧЕТОМ ИХ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ	339
Р.И. Газизов ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АМПЛИТУД ГАРМОНИК ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ	345
А.И. Елшин, С.Ю. Ивликов, С.Л. Собин ИНДУКТИВНО-КОНДУКТИВНЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ТЕРМОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ	348
В.С. Циркин ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АМПЛИТУД ГАРМОНИК ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ	352
В.Ф. Тонышев ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТИ СИНХРОННЫХ МАШИН В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ.....	355

Уважаемые коллеги!

Редакция журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока», приглашает Вас опубликовать результаты Ваших научных исследований в №2 журнала за 2010 год. Материалы (заявку, статью, рецензию) просим высылать ответственному секретарю журнала Коновалову Валерию Владимировичу по электронной почте: mrk-nsawt@ngs.ru. Оригиналы по почте на адрес Академии с пометкой для Коновалова В.В. Прием материалов в очередной номер журнала заканчивается 25 октября 2010 г.

Заявка на публикацию научной статьи в №2 журнала за 2010 год

	на русском языке	на английском языке
Название статьи		
Аннотация (150-200 символов)		
Ключевые слова (не более 10 слов)		
Организация (полное юридическое название, почтовый 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.
- 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 15.06.2010 г. с оригинал-макета
Бумага офсетная №1, формат 60x84 1/8, печать трафаретная – Riso.
Усл. печ. л. 42,6 , тираж 1500 экз. Заказ №53.
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