

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТА СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Научный журнал

Учредитель журнала
Сибирский Государственный
Университет Водного Транспорта

Журнал выходит
на русском языке с 2002 года

Периодичность – 4 выпуска в год

Журнал широкой научной тематики:

- Эксплуатация и экономика транспорта
- Путь. Путевое хозяйство
- Судовождение
- Теплоэнергетика
- Электроэнергетика
- Экология
- Транспортное образование

Редакционная коллегия:

Бернацкий Анатолий Филлипович – докт. техн. наук, профессор кафедры Строительного производства Новосибирского государственного университета архитектуры, дизайна и искусств

Ботвинков Владимир Михайлович – докт. техн. наук, профессор кафедры Водных изысканий, путей и гидротехнических сооружений Сибирского государственного университета водного транспорта

Бунеев Виктор Михайлович – докт. экон. наук, профессор, заведующий кафедрой Управления работой флота Сибирского государственного университета водного транспорта

Мусин Агзам Хамитович – докт. техн. наук, профессор кафедры Электрификации производства и быта Алтайского государственного технического университета имени И.И. Ползунова

Боровиков Юрий Сергеевич – докт. техн. наук, профессор кафедры Электроэнергетических систем Национального исследовательского Томского политехнического университета

Сальников Василий Герасимович – докт. техн. наук, профессор кафедры Электроэнергетических систем и электротехники Сибирского государственного университета водного транспорта

Сичкарев Виктор Иванович – докт. техн. наук, профессор кафедры Судовождения Сибирского государственного университета водного транспорта

NAUCHNYE PROBLEMY TRANSPORTA SIBIRI I DAL'NEGO VOSTOKA

Science Magazine

The founder of the journal
Siberian State University
of Water Transport

The magazine is published
in Russian in 2002

Frequency – 4 issues per year

Science magazine with the headings:

- Transport operation and economics
- Infrastructure of transport routes
- Management and maintenance of means of transport
- Heat power industry
- Electric power industry
- Ecology
- Transport Education

Editorial team:

Anatolii Bernatskii – Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Professor at the Department of Construction Industry in Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts

Vladimir Botvinkov – Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Professor at the Department of Water Research, Waterways and Hydraulic Structures of Siberian State University of Water Transport

Victor Buneev – Holder of an Advanced Doctorate in Economic Sciences, Professor at the Department of Fleet Management in Siberian State University of Water Transport

Agzam Musin – Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Professor at the Department of Factory and Household Electrification in Polzunov Altay State Technical University

Yurii Borovikov – Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Professor at the Department of Electric Power Systems in National Research Tomsk Polytechnic University

Vasilii Sal'nikov – Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Professor at the Department of Electric Power Systems and Electric Engineering in Siberian State University of Water Transport

Victor Sichkarev – Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Professor at the Department of Navigation in Siberian State University of Water Transport

Редакция журнала

Главный редактор

Зачесов Венедикт Петрович,

докт. техн. наук, профессор

Заместители главного редактора:

Бик Юрий Игоревич,

докт. техн. наук, профессор

Барановский Александр Михайлович

докт. техн. наук, профессор

Горелов Валерий Павлович,

докт. техн. наук, профессор

Межрегиональный редакционный совет:

Малов Владимир Юрьевич – докт. экон. наук, профессор Института экономики и организации промышленного производства СО РАН (г. Новосибирск)

Черемисин Василий Титович – д-р техн. наук, профессор Омского государственного университета путей сообщения (г. Омск)

Худогов Анатолий Михайлович – докт. техн. наук, профессор Иркутского государственного университета путей сообщения (г. Иркутск)

Кича Геннадий Петрович – докт. техн. наук, профессор Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского» (г. Владивосток)

The editorial staff

Editor in Chief

Venedikt Zachesov

Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof.

Deputy chief editor:

Yurii Bik

Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof.

Aleksandr Baranovskii

Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof.

Valerii Gorelov

Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof.

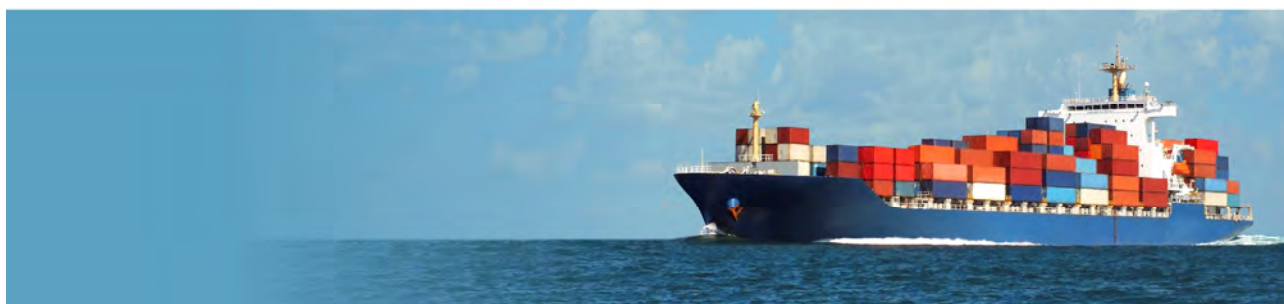
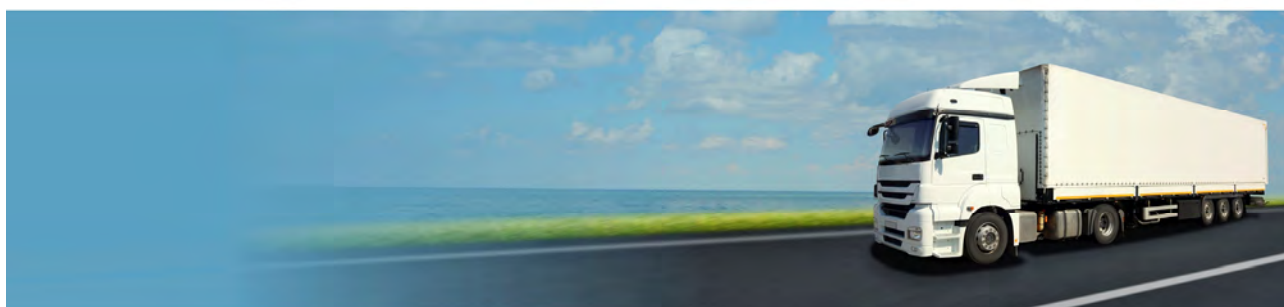
Interregional editorial board:

Vladimir Malov – Holder of an Advanced Doctorate in Economic Sciences, Prof. of Institute of Economics and Industrial Engineering of SB RAS (Novosibirsk)

Vasilii Cheremisin – Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of Omsk State Transport University (Omsk)

Anatolii Hudonogov – Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of Irkutsk State Transport University (Irkutsk)

Gennadii Kicha – Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of Maritime State University named after admiral G.I.Nevelskoi (Vladivostok)



ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУЗОВОЙ БАЗЫ РЕЧНЫХ ПОРТОВ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Е.С. Жендарева

PROBLEMS OF THE CARGO TURN-OVER OF RIVER PORTS

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Elena S. Zhendareva (Ph.D. of Economic Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

ABSTRACT: The main problems of turn-over growth of river ports are considered in this paper, such as external and internal affecting factors, problems and trends of interaction between ports and cargo owners.

Keywords: *water transport, river port, cargo turn-over*

Рассмотрены основные проблемы формирования грузовой базы речных портов – внешние и внутренние факторы, влияющие на формирование грузовой базы, проблемы и тенденции взаимодействия портов и грузовладельцев.

Современные проблемы формирования грузовой базы речных портов во многом обусловлены задачами функционирования и развития региональной транспортной системы, потребностями экономики, бизнеса, общества и государства в снабжении сырьём, материалами и готовой продукцией. Сбалансированность отдельных видов транспорта является важным условием надёжной и эффективной транспортной системы, элементом которой являются речные порты. Здесь сконцентрированы основные возможности по взаимодействию речного и сухопутных видов транспорта, хранения и накопления грузов, организации мультимодальных и интермодальных перевозок, обслуживания международных транспортных коридоров.

За период 2006-2015 гг. объем перевозок грузов всеми видами транспорта в РФ снизился на 18,5% и составил в 2015 г. – 7,6 млрд. т, причём доля железнодорожного транспорта в структуре перевозок возросла с 14,1 до 17,5%, автомобильного – снизилась с 72,6 до 66,5%, речного – практически не изменилась, составив в среднем 1,5% [3]. При этом общий грузооборот транспорта за указанный период вырос на 6,1% (с 4800 до 5080 млрд. т·км), железнодорожного – на 18,2%, а автомобильного – на 17,1%. Грузооборот речного транспорта снизился на 26,4% (с 87 до 64 млрд. т·км). Ежегодные темпы снижения грузооборота речного транспорта составили 2,0%.

В структуре речных перевозок доля грузов, доставляемых в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности с ограниченным сроком завоза, увеличилась с 10,9 до 14,0%, преимущественно за счёт сухогрузов. Объем перевозок за рассматриваемый период увеличился на 13,1 млн. т, в том числе на 5,2 млн. т за счёт Северного завоза. Среди грузов речного транспорта в настоящее время преобладают строительные (55,4%), нефтеналив (13,1%), зерно (6,0%), лесные (4,6%), уголь и кокс (2,6%), чёрные металлы (2,2%), химические и минеральные удобрения, руда, комбикорм и др.

Современный этап функционирования речной отрасли характеризуется глубоким системным кризисом, охватившим большую часть видов производственной деятельности портов, пароходств и судоходных компаний, сопровождающимся нарастающим физическим и моральным износом флота, перегрузочной техники и других производственных фондов. Одной из ключевых проблем, определяющих степень востребованности речного транспорта на региональном рынке транспортных услуг, а впоследствии и эффективность деятельности отдельных его субъектов, является грузовая база.

Грузовая база транспортного предприятия представляет собой преобладающую номенклатуру грузов, предъявляемых к перевозке. В речном порту грузовая база прежде всего определяет объём и структуру перегрузочных работ. Объём перегрузочных работ речных портов РФ за период 2011-2016 гг. снизился на 25% (с 184,3 до 138,7 млн. т), а в 2017 г. упал более чем в два раза по сравнению с 2016 г. (рисунок 1).

Проблемы формирования грузовой базы речного порта обусловлены влиянием различных факторов. В их числе макро- и микроэкономические факторы, исследование которых не входит в нашу задачу. Интерес представляют внутренние и внешние по отношению к транспортной системе факторы [1].

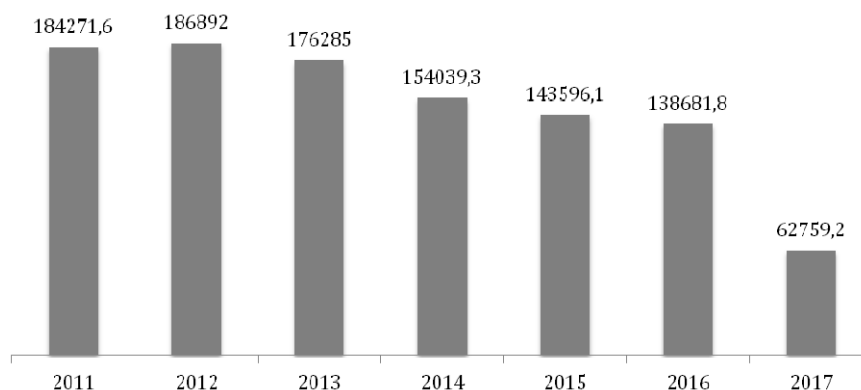


Рисунок 1 – Объём перегрузочных работ в речных портах РФ

К внутренним факторам относятся: состояние портовой инфраструктуры – перегрузочного оборудования, складов, подъездных путей и пр., условия навигации, наличие флота, а также тарифная политика предприятия. К внешним – наличие и размещение грузовой базы, реализация экономических проектов развития и освоения новых территорий, уровень цен на топливо и смазочные материалы, общее состояние экономики, конкуренция с другими видами транспорта (рисунок 2).



Рисунок 2 – Факторы формирования грузовой базы речного порта

Переход страны к рыночной экономике охарактеризовался резким спадом промышленного, сельскохозяйственного производства и строительства, сопровождавшимся разрывом сложившихся хозяйственных и транспортных связей, а также разрушением сложившихся схем транспортировки грузов с участием речного транспорта. К основным проблемам формирования грузовой базы отрасли следует отнести:

- ухудшение инфраструктуры речных портов, вследствие нарастающего износа причальных сооружений, перегрузочного оборудования и других производственных фондов (по состоянию на 2015 г. износ основных фондов предприятий речного транспорта достиг 56,8%, имея ежегодный прирост более 1,22%);
- высокий износ грузового флота и низкие темпы его обновления (средний возраст сухогрузных судов достигает 40 лет, нефтеналивных – 41 год, причём удельный вес судов, построенных за последние 15 лет составляет 2,2 и 2,4% соответственно);
- преобладание в структуре грузовой базы речных предприятий низкорентабельных грузов (щебень, песок, песчано-гравийная смесь) наряду с дефицитом высокотарифицированных грузов – нефтепродуктов, леса, металла и металлоизделий, железобетонные изделия, контейнеров и др.;
- снижение производственного потенциала отрасли, сопровождавшегося оттоком квалифицированных кадров, кризисом судостроительной отрасли;
- существенное ухудшение показателей, характеризующих качество судоходных усло-

вий, а именно уменьшение протяжённости внутренних водных путей с гарантированными глубинами (особенно в восточных и северных бассейнах), а также потери провозной способности путей из-за снижения габаритов судовых ходов и возможности движения флота только в светлое время суток;

– ухудшение технического состояния портовых гидротехнических сооружений вследствие многолетнего недофинансирования из федерального бюджета (около 75% сооружений не имеют нормального декларированного уровня безопасности).

Обь-Иртышский воднотранспортный бассейн занимает обширную территорию Западно-Сибирской равнины, от Урала до границ с Красноярским краем, территориально охватывая Алтайский край, Новосибирскую, Кемеровскую, Омскую, Томскую области, а также Тюменскую область с Ханты-Мансийским и Ямало-Ненецким автономными округами. На его территории деятельность, связанную с работой внутреннего водного транспорта осуществляют более 60 речных предприятий, 12 из которых являются действующими грузовыми и грузопассажирскими портами. Это речные порты Бийск, Томск, Нижневартовск, Сургут, Нефтеюганск, Салехард (с Лабытнанги), Сергино, Уренгой, Надым на Оби и Омск, Тобольск, Тюмень на Иртыше.

Роль речных портов Барнаул, Новосибирск, Кемерово в транспортной системе региона в последние годы заметно снизилась, основными причинами являются спад грузооборота (Новосибирск), ухудшение навигационных условий (Кемерово), перенос порта за черту города (Барнаул). Ханты-Мансийский порт функционирует преимущественно как пассажирский.

Современное состояние грузовой базы речных портов бассейна сформировалось под влиянием таких факторов, как локация мест производства и потребления нерудных строительных материалов, а также обеспечение завоза грузов в районы добычи нефти и природного газа. Так, наиболее востребованными перевалочными портами бассейна для доставки строительных грузов являются Томск, Сургут, Сергино на Оби и Тобольск на Иртыше, на которые приходится до 80% объёма перегрузочных работ бассейна. Собственную добычу песка и песчано-гравийной смеси осуществляют порты Бийск, Томск, Салехард, Омск. Операции по перевалке контейнеров и пакетированных грузов в портах практически не осуществляются (за исключением Сургутского), ввиду отсутствия этой грузовой базы, а также практически неразвитой инфраструктуры, предназначенной для обработки 20- и 40- футовых контейнеров.

Формирование грузовой базы речных портов является одной из приоритетных задач отрасли. Стратегия развития внутреннего водного транспорта РФ [2] прогнозирует рост грузовой базы внутреннего водного транспорта по инновационному сценарию развития российской экономики до 242 млн. т к 2030 г. Предпосылками для увеличения грузовой базы речных портов являются:

– создание организационно-экономических условий для переключения грузопотоков с автомобильного и железнодорожного транспорта на речной, в регионах тяготения к внутренним водным путям;

– более низкая себестоимость перевозок в сравнении с сухопутными видами транспорта при перевозках сухогрузов на расстояние свыше 200-300 км, нефтепродуктов – свыше 600-700 км;

– развитие мультимодальных и интермодальных перевозок на базе крупных перевалочных портов (в настоящее время в прямом смешанном железнодорожно-водном сообщении ежегодно перегружается около 6 млн. т грузов, что не удовлетворяет принципам рациональной организации транспортного процесса);

– привлечение высокотарифицированных грузов на внутренний водный транспорт, в условиях Обь-Иртышского бассейна это прежде всего строительные грузы – железобетонные изделия, кирпич, трубы, цемент;

– повышение уровня доступности и качества услуг по перевалке жизненно важных грузов через речные порты, особенно при доставке их в районы Крайнего Севера.

Таким образом, проблемы формирования грузовой базы речных портов требуют дальнейшего исследования, поскольку влияют на эффективность их функционирования и стабильность положения на региональном рынке транспортных услуг. Отмечается влияние макроэкономических и микроэкономических, а также внутренних и внешних по отношению к транспортным системам факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- 1 Бунеев, В.М. Оценка эффективности речных транспортных систем / В.М. Бунеев // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2014. -№1-2. -С. 3-6.
- 2 Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года. –Режим доступа: <http://government.ru/docs/22004/-01.02.2018>.
- 3 Транспорт и связь в России 2016: Стат.сб. -М.: -Росстат, 2016. -112 с. -Режим доступа: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2016/transp-sv16.pdf - 01.02.2018.

- 1 Buneev V.M. Evaluation of the river transport systems efficiency [Otsenka effektivnosti rechnykh transportnykh system]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2014. No. 1-2. -pp. 3-6.
- 2 Inland waterway transport of Russian Federation development strategy up to 2030 [Strategiya razvitiya vnutrennego vodnogo transporta Rossiiskii federatsii na period do 2030 goda]. URL: <http://government.ru/docs/22004/> - February 01. 2018.
- 3 Transport and telecommunication in Russia: statistical digest [Transport i svyaz' v Rossii 2016: statisticheskii sbornik]. Moscow: Rosstat Publ., 2016. 112 p. URL: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2016/transp-sv16.pdf - February 01. 2018.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водный транспорт, речной порт, грузовая база
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Жендарева Елена Сергеевна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

УПРАВЛЕНИЕ НАЛОГОВЫМИ РИСКАМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТРАНСПОРТА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

И.Г. Фютик, Е.В. Савельева

TAX RISK MANAGEMENT AT TRANSPORT ENTERPRISES

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Ina G. Fyutik (Ph.D. of Economic Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

Ekaterina V. Savel'eva (Ph.D. of Economic Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

ABSTRACT: In today's economic situation, risk management of a transport enterprise covers a wide range of affecting risks, but the tax risks don't get sufficient attention. Authors explore the possibility of tax risks managing, considering the experience of Russian entrepreneurship and the specifics of transport activities.

Keywords: tax risk, risk management, tax risk management, risk plan

В современной экономической ситуации риск-менеджмент транспортного предприятия охватывает широкий спектр влияющих рисков, но налоговым рискам не уделяется достаточного внимания. Исследована возможность управления налоговыми рисками с учетом опыта российского предпринимательства и специфики транспортной деятельности.

В последнее время все более актуальным является внедрение процесса риск-менеджмента на предприятиях различных отраслей экономики, так как может применяться как универсальный инструмент принятия управленческих решений. Стандарты системы менеджмента качества, все более совершенствуются, и теперь включают и механизм риск-менеджмента, который должен учитывать все возможные риски конкретного предприятия или организации.

В экономической теории рисков рассматривается множество различных подходов к рискам и их классификациям, и в данной статье рассматривается такой специфический вид риска, как налоговый, с учетом применения предприятиями транспортной отрасли.

Можно рассматривать два подхода к налоговым рискам, как сегмент экономических рисков, так и финансовых рисков. Также понятие налоговых рисков применяется с позиций различных участников налоговых взаимоотношений: законодательства (государства), налогоплательщика, налоговых агентов [6].

В целом налоговый риск характеризуется вероятностью возникновения непредвиденных финансовых потерь, которые связаны с введением новых видов налогов, изменением размеров налоговых ставок действующих налогов, изменением порядка и сроков внесения налоговых платежей. К неблагоприятным последствиям относятся: доначисление сумм налогов; штрафы (пени); возникновение спора с налоговым органом; проведение проверки.

Можно выделить три основных направления воздействия налоговых рисков:

– риск налогового контроля, который существенно зависит от уровня активности налогоплательщика в отношении минимизации налогов. Для законопослушного налогоплательщика он достаточно невелик и сводится к возможности появления и обнаружения налоговыми органами случайных ошибок налогового учета, а при активных действиях по минимизации налогов – существенно возрастают. К данному риску применима Концепция системы плани-

рования выездных налоговых проверок Федеральной налоговой службы (ФНС) России [4];

- риск усиления налогового бремени, свойственен деятельности экономических субъектов длительного характера, таким как, новые предприятия, инвестирование в недвижимость, долгосрочные кредиты и т.д. Проявляется он через введение новых налогов, рост ставок уже существующих налогов и в отмене налоговых льгот [3];

- риск уголовного преследования связан с существенными финансовыми потерями, возникающими у налогоплательщиков и в рамках уголовного преследования за совершение правонарушений, предусмотренных как Налоговым, так и Уголовным кодексами РФ [3].

Чтобы управлять налоговыми рисками, необходимо определить их масштабы и причины возникновения. Факторы подразделяются на экономические, информационные, организационные, технические, социальные и политические. Работа с налоговыми рисками строится в едином русле с корпоративной системой риск-менеджмента, и имеет традиционный алгоритм действий: выявить (идентифицировать), оценить, снизить вероятность и уровень последствий.

Предупреждение налоговых рисков является одной из основных задач финансового подразделения, но ответственность несет руководитель предприятия. Процесс реализуется в несколько этапов:

- Анализ существующей налоговой нагрузки у предприятия.
- Внутренний и внешний аудит финансовых налоговых процессов.
- Анализ действующего налогового законодательства и перспектив его развития.
- Анализ перспектив деятельности с позиции налоговой базы.
- Выявление и оценка основных факторов риска.
- Анализ налоговых рисков и выработка решений по их минимизации.
- Выполнение планируемых мероприятий с учетом изменения учетной, налоговой и кредитной политик предприятия.
- Мониторинг и контроль выполнения мероприятий, а также текущий аудит учетных действий [2].

Для того чтобы справиться с проблемами, необходим профессиональный подход при составлении системы налогового планирования и контроля внутри предприятия. Такую систему имеют иностранные государства, где тесно взаимодействуют юридическая и финансовая службы предприятия, используются услуги внешних консультантов, специализирующихся в области налогообложения.

Во многих развитых странах с рыночной экономикой решены проблемы планирования и контроля внутри предприятия, но, к сожалению, на российских предприятиях этот вопрос еще достаточно слабо решается. Создается впечатление, что многие российские предприниматели слабо представляют какие налоговые риски их ожидают, чрезмерно минимизируя налоговую нагрузку и порой даже преступая налоговое законодательство [1].

Рассмотрим направления воздействия налоговых рисков в применении к транспортным предприятиям.

Риски первого направления. Приоритетными для включения в план выездных налоговых проверок являются те налогоплательщики, в отношении которых у налогового органа имеются сведения об участии в схемах ухода от налогообложения или схемах минимизации налоговых обязательств, и если результаты проведенного анализа финансово-хозяйственной деятельности налогоплательщика свидетельствуют о предполагаемых налоговых правонарушениях [7].

В настоящее время российский налогоплательщик может проконтролировать налоговые риски своего предприятия в процессе налогового планирования, тем самым снизив данный вид риск. Так как, среди критериев, перечисленных в приложении к приказу ФНС России от 30 мая 2007 г. № ММ-3-06/333 [4], налоговые органы, отбирая кандидатов на выездную проверку, используют показатели налоговой нагрузки и рентабельности. Среднеотраслевые значения для них ежегодно обновляются на сайте ФНС России.

Расчет представлен с учетом поступлений по налогу на доходы физических лиц и без учета поступлений по страховым взносам на обязательное пенсионное страхование.

Налоговые инспекторы соотносят сумму уплаченных налогов в течение года по данным отчетности налоговых органов с величиной выручки за год по данным Федеральной службы государственной статистики [5], и определяют, таким образом, долю доходов налогопла-

тельщика, внесенную в бюджет государства.

В процессе риск-менеджмента на транспортном предприятии показатели, значительно отклоняющиеся от приведенных в таблицах 1 и 2, ведут к увеличению налоговых рисков и возможным выездным проверкам. С другой стороны, если налоговая нагрузка значительно выше средних значений по отрасли, то налогоплательщик заинтересован в оптимизации налоговых платежей.

По мнению некоторых аудиторских компаний, в результате мероприятий налогового планирования (налогового риск-менеджмента) налоговая нагрузка может быть уменьшена до 15%. Более существенное снижение налоговой нагрузки увеличивает налоговые риски [8]. Сравнив соответствующие показатели налоговой нагрузки и рентабельности продаж для каждого предприятия транспорта со среднеотраслевыми показателями, можно определить вероятность, уровень и класс риска налогового контроля, после чего определить его последствия и разработать предупреждающие действия. Можно также проанализировать факторы, способствующие возникновению риска, некоторые из них приведены ниже в форме риск-плана (таблица 3).

Таблица 1 – Показатели налоговой нагрузки отрасли транспорта и связи, %

Вид экономической деятельности	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Транспорт и связь, в том числе:	7,8	7,9	7,2
– деятельность железнодорожного транспорта	9,5	10,2	8,4
– транспортирование по трубам	3,5	1,7	3,2
– деятельность водного транспорта	11,1	13,6	13,1
– деятельность воздушного транспорта	2,9	1,4	–
– связь	12,9	12,8	12,6

Таблица 2 – Показатели рентабельности деятельности транспорта и связи, %

Вид экономической деятельности	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Всего по видам экономической деятельности, в том числе:	8,6	9,3	8,1
– транспорт и связь	9,6	10,6	10,8
– в том числе связь	23,5	21,4	18,2

Таблица 3 – Риск-план по управлению налоговой деятельности

Описание риска	Риск-факторы / последствия риска	Мероприятия, направленные на устранение факторов / уменьшение последствий
Изменения в налоговом законодательстве	Внесение поправок в законодательные акты / необходимость информирования и переобучения бухгалтерского персонала	Мониторинг возможных нововведений в налоговом законодательстве и знаний специалистов в начале каждого отчетного налогового периода / оптимизация расходов и времени на освоение новшеств, изменений и требований
Неграмотная учетная политика налогообложения	Не определены все позиции учетной политики налогообложения / отрицательное аудиторское заключение, штрафные санкции по учету	Устанавливать учетную политику в целях налогообложения, учитывая специфику транспортного предприятия / четкое ведение налогового учета, начисления налоговых платежей и определения финансовых результатов
Отказ грузовладельцев заключать договор	Работа контрагентов по разным налоговым режимам / потеря клиентов	Работать с клиентами избегая сомнительных схем минимизации налоговых платежей / Выбор оптимальной системы налогообложения
Риск неправильного оформления транспортных операций и возникновения налоговых споров	Ошибки в ведении учетных регистров, неграмотность персонала / штрафные санкции, налоговые споры, разногласия по акту налоговой проверки	Точно оформлять транспортные операции, проводить внутренний аудит, знать законодательную процессуальную последовательность продвижения документов и рассмотрение налогового спора / подача достоверной налоговой отчетности по результатам деятельности транспортного предприятия, снижение судебных издержек
Риск проведения налоговой проверки	Подача неверной информации в ФНС, отклонения от среднеотраслевых значений / проведение камеральной и выездной налоговой проверки	Оценивать отраслевые показатели налоговой нагрузки, при наступлении риска обратиться за юридической помощью и заранее начать готовить доказательную базу / получение налоговых замечаний, не несущих в себе привлечение к ответственности

Налоговым рискам второго направления подвержены как территории опережающего развития (ТОР) и оффшорные зоны, так и предприятия, использующие различные налоговые преференции. Так, например, налогообложение ТОР Дальнего Востока имеет значительно пониженные ставки налогов и другие преференции, что в будущем, после истечения 10-летнего льготного периода, возможно, приведет к их повышению до стандартных. Данные налоговые риски уже можно прогнозировать и модифицировать. То же относится и к преференциям для вновь созданных предприятий (в том числе инновационной сферы), где возникновение рисков измеряется только временем, через которое произойдет выравнивание налоговых параметров. Что необходимо учитывать, так как в этом выражается специфичность налогового риска.

Риски третьего направления, а также риски ответственности, подробнее рассмотрены в таблице 3, в которой также указаны наиболее распространенные типовые факторы налоговых рисков.

Можно добавить еще и другие возможные риски в налоговых отношениях, но все риски предусмотреть не всегда возможно, и предполагается, что риск-менеджмент обозначенных налоговых рисков будет полезен в работе конкретных транспортных предприятий.

Таким образом, к общедоступным критериям оценки налоговых рисков относятся следующие позиции:

- Показатели налоговой нагрузки предприятия ниже среднеотраслевого значения или среднего уровня по виду экономической деятельности.
- Значительное отклонение уровня рентабельности по данным бухгалтерского учета от уровня по данным статистики.
- Отражение убытков в бухгалтерской или налоговой отчетности на протяжении нескольких налоговых периодов.
- Опережающий темп роста расходов над темпом роста доходов от предоставления транспортных услуг.
- Неоднократное приближение к предельному значению установленных показателей, предоставляющих право применять специальные режимы налогообложения.
- Построение основной деятельности по договорам «цепочки контрагентов» без разумных экономических причин (деловой цели).
- Непредставление пояснений на уведомление налогового органа о выявлении несоответствия показателей деятельности.
- Неоднократное снятие с учета или постановка на учет в налоговых органах в связи с изменением места нахождения налогоплательщика [4].

Поэтому в настоящее время достаточно актуальным является внедрение системы управления налоговыми рисками на каждом транспортном предприятии и использование современных методов управления различными видами налоговых рисков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- 1 Зайцева, С.С. Налоговые риски неплатежеспособных и низко-конкурентных предприятий/ С.С. Зайцева // -Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: экономика. -2011. -№4. -С.32-38.
- 2 Лысенко, И.В. Налоговые риски в деятельности коммерческих организаций: сущность и управление / И.В. Лысенко // Вестник НГУЭУ. -2011. - №1. - С.169-179.
- 3 Федеральный закон от 31.07.1998 г. №146-ФЗ (ред. от 29.12.2017 г.) Налоговый кодекс Российской Федерации (часть первая) // СПС КонсультантПлюс.
- 4 Приказ ФНС России от 30.05.2007 г. №ММ-3-06/3330 (ред. от 10.05.2012 г.) Об утверждении Концепции системы планирования выездных налоговых проверок // СПС «КонсультантПлюс».
- 5 Федеральная служба государственной статистики. –Режим доступа: www.gks.ru. – 01.02.2018.
- 6 Федеральная налоговая служба России. – Режим доступа: <http://www.nalog.ru>. -01.02.2018.
- 7 Плотникова, А.И. Модель управления налоговыми рисками в судоходной деятельности / А.И. Плотникова // -Транспортное дело России. -2017. -№4. -С. 34-39.
- 8 Попова, Е.В. Оценка аудитором налоговых

- 1 Zaitseva S.S. Tax exposure of insolvent and low-competitive enterprises [Nalogovye riski neplatezhesposobnykh i nizko-konkurentnykh predpriyatii]. Vestnik Adygeiskogo gosudarstvennogo universiteta: ekonomika. 2011. Vol. 5. No. 4. pp. 32-38.
- 2 Lysenko I.V. Tax exposure in the activities of business: the nature and management [Nalogovye riski v deyatel'nosti kommercheskikh organizatsii: sushchnost' i upravlenie]. Vestnik NGUEU. 2011. No. 1. pp.169-179.
- 3 Federal'nyi zakon ot 31.07.1998 №146-FZ (red. ot 29.12.2017) Tax Code of the Russian Federation (Part 1). [Nalogovyi kodeks Rossiiskoi Federatsii (chast' pervaya)]. "Consultant-Plus" law reference system.
- 4 Prikaz FNS Rossii ot 30.05.2007 №ММ-3-06/3330 (red. ot 10.05.2012) On the Approval of the Concept of the Planning System for on-site tax investigations [Ob utverzhdenii Kontseptsii sistemy planirovaniya vyezdnykh nalogovykh proverok]. "Consultant-Plus" law reference system.
- 5 Federal State Statistics Service [Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki]. URL: www.gks.ru. -01 Feb. 2018.
- 6 Federal Tax Service of Russia website [Federal'naya nalogovaya sluzhba Rossii]. URL: <http://www.nalog.ru>. -01 Feb. 2018.
- 7 Plotnikova A.I. Tax risk management model at shipping enterprise [Model' upravleniya nalogovymi riskami v sudokhodnoi deyatel'nosti]. Transportnoe delo Rossii. 2017. No. 4. pp. 34-39.
- 8 Popova, E.V. The auditor's assessment of tax risks when check-

рисков при проверке расчетов по налогу на прибыль / ing income tax calculations [Otsenka auditorom nalogovykh riskov pri
E.B. Попова // -Аудитор. -2010. -№12. -С. 24-30. | proverke raschetov po nalogu na pribyl']. Auditor. 2010. No. 12. pp. 24-30.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: налоговый риск, риск-менеджмент, управление налоговыми рисками, риск-план
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Фюттик Ина Геннадьевна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Савельева Екатерина Владимировна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОВЕДЕНЧЕСКИЙ АУДИТ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей
сообщения»

В.Л. Павлова, М.Г. Рублев, Н.Е. Токарева

BEHAVIORAL SAFETY AUDIT IN RAILWAY TRANSPORT ENTERPRISES

Siberian Transport University (STU) 191, Dusi Koval'chuk St., Novosibirsk, 630049, Russia

Vera L. Pavlova (Ph.D. of Economic Sciences, Assoc. Prof. of STU)

Mikhail G. Rublev (Ph.D. of Biological Sciences, Assoc. Prof. of STU)

Natal'ya E. Tokareva (Graduate student of STU)

ABSTRACT: Statistically, more than 85% of work-related injuries and 96% according to Western countries statistics happen due to incorrect actions by workers themselves. Such impressive figures are explained simply: our behavior in this or that situation is caused by many factors, including indirect ones (family problems, fatigue or character traits, psychomotor factors). As a rule, accidents happen more often with some people because of their individual characteristics. Therefore, it is extremely difficult to protect a person from wrong actions. Behavioral safety audit is a new prospective evaluation system which helps to identify the main and typical causes of injury.

Keywords: behavioral safety audit, railway transport, human factor, work related injuries and morbidity, safe operational procedure

По статистике более 85% случаев производственных травм – а в западных странах говорят о 96% – происходит вследствие неправильных действий самих работников. Столь внушительные цифры объясняются просто: наше поведение в той или иной ситуации обусловлено многими факторами, в том числе, казалось бы, косвенными (проблемами в семье, усталостью или характерной особенностью личности, психомоторными факторами). И, как правило, чаще несчастные случаи происходят с некоторыми людьми именно вследствие их индивидуальных особенностей. Поэтому человека крайне сложно оградить от неправильных действий. Для выявления основных и типичных причин травматизма в настоящее время применяют новую перспективную систему оценки – поведенческий аудит безопасности.

Пробные исследования на предприятиях железнодорожного транспорта были проведены в рамках поставленной перед кафедрой «Безопасность жизнедеятельности» СГУПС задачи по оценке роли поведенческого аудита в снижении травматизма и заболеваемости.

Основная цель исследования заключалась в том, чтобы выявить, как поведенческий аудит безопасности может повлиять на снижение человеческого фактора. Для этого в качестве примера было выбрано линейное предприятие N на Западно-Сибирской железной дороге.

Объектом научного исследования является разработка мероприятий, способствующих устранению негативного человеческого фактора для электромонтеров по обслуживанию сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ).

Предмет исследования – система безопасного регламента работ для электромонтеров по обслуживанию СЦБ.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- оценка безопасного регламента работ для электромонтеров по обслуживанию СЦБ;
- организация и проведение наблюдения за работой электромонтера СЦБ;
- определение предпосылок и последствий поведенческих событий;
- разработка мероприятий, способствующих устранению негативного человеческого фактора;
- оценка роли поведенческого аудита в снижении травматизма.

В результате работы в рамках Политики, проводимой ОАО «РЖД», наблюдается ежегодное снижение производственного травматизма, хотя его уровень по-прежнему остается достаточно высоким [1]. На рисунке представлена динамика производственного травматизма и его тяжести по годам с момента образования ОАО «РЖД».

Фактические показатели производственного травматизма за 2016 г. в целом по компа-

нии превысили расчетные значения целевых показателей:

- по коэффициенту частоты общего травматизма на 13,3%;
- по коэффициенту частоты со смертельным исходом на 26,7%.

Распределение несчастных случаев в ОАО «РЖД» по их причинам за последние два года представлено в таблице 1.

Анализ основных причин происшествий показывает, что значительная их доля (50-75%) связана с человеческим фактором [2]. Так, основными причинами производственного травматизма являются (см. таблицу 1):

- неудовлетворительная организация и контроль за производством работ;
- нарушения трудовой и производственной дисциплины;
- нарушения технологического процесса;
- нарушение правил дорожного движения.

Поведенческий аудит безопасности (ПАБ) – систематический и документированный процесс, который основывается на наблюдении за действиями работника во время выполнения им производственного задания, его рабочим участком/местом, и последующей беседе между работником и аудитором.

Задача поведенческого аудита заключается в выявлении ключевых поведенческих событий, относящихся к конкретному виду трудовой деятельности, влияющих на ее результаты.

ПАБ является элементом промышленной, пожарной безопасности, охраны окружающей среды, системы управления охраны труда, и основной составляющей процесса совершенствования системы управления охраной труда (СУОТ). Аудиты безопасности направлены на предупреждение, выявление и предотвращение опасных условий. ПАБ является дополнением к существующим видам контроля, направленным на выполнение нормативных и локальных нормативных актов в области охраны труда, здоровья, промышленной, пожарной безопасности и охраны окружающей среды [3].

Для экспертной оценки системы безопасного регламента работ для электромонтера был разработан опросник, на который работники отвечали для выявления оценки их уровня знаний безопасности. В данном опросе участвовало двадцать электромонтеров предприятия «N». Ответы на вопросы распределились следующим образом.

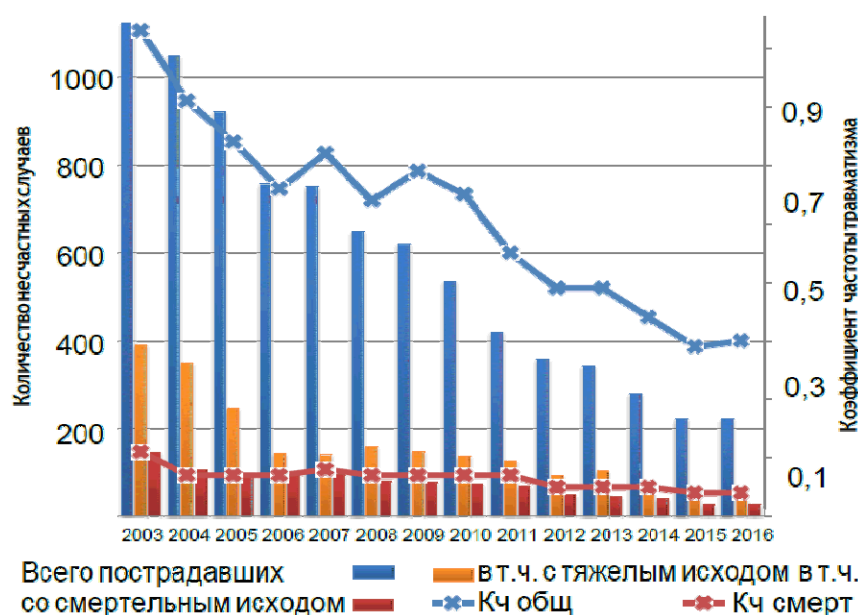


Рисунок – Динамика производственного травматизма в ОАО «РЖД» за период 2003-2016 гг.

Таблица 1 – Основные причины травматизма в ОАО «РЖД» в 2015-2016 гг.

Причина травматизма	2015 г.	2016 г.
Дорожно-транспортное происшествие	15	20
Падение с высоты	13	17
Падение, спотыкание, скольжение по поверхности	12	15
Наезд, удар, зажатие подвижным составом	10	9
Воздействие перемещающихся грузов, движущихся, разлетающихся деталей, изделий, материалов	12	7
Удар, придавливание, захват инструментами	7	9
Падение, обрушение материалов, груза, сооружений	7	6
Поражение электротоком	2	3
Удар, зажатие о рядом расположенное сооружение	3	4
Прочие виды происшествий	3	3
Воздействие экстремальных температур	3	4
Попадание в глаз, попадание инородного тела	2	3
Воздействие, отлетевшими от удара предметами	2	0
Избиение, противоправные действия третьих лиц	2	1

1 Сколько лет вы работаете в данной специализации?

- до 5 лет.....40%;
- 5-10 лет.....30%;
- более 10 лет.....30%.

На данном предприятии большую часть работников составляют молодые специалисты (со стажем работы до 5 лет).

2 Соблюдаете ли вы правила безопасности?

- Да90%;
- Нет10%.

На данный вопрос большинство опрошенных работников ответили положительно. Все работники данного предприятия стараются соблюдать правила техники безопасности, но есть ситуации, в которых они не могут полностью соблюдать безопасный регламент работы. В связи с этим поставлен третий вопрос.

3 Есть ли правила безопасности, которые редко получается соблюдать?

- Да30%;
- Нет70%.

В связи с тем, что электромонтер на рабочем месте может оказаться один, он должен призвать работника смежной службы, работника службы пути или работника службы движения. Чаще всего в рабочем процессе получается так, что работники смежных служб не всегда могут осуществить данную задачу, поэтому электромонтеру приходится работать одному, что категорически запрещается (по регламенту он не должен работать «в одно лицо»).

4 При каких нарушениях требований безопасности электромонтер не должен приступать к выполнению работы?

- Недостаточной освещенности или при загроможденности рабочего места45%;
- Истечении срока годности средств защиты45%;
- Наложение заземления на токоведущие части10%.

10% работников ошибочно считают, что не должны приступать к работе, если наложено заземление на токоведущие части.

5 Часто ли вы сталкивались с опасными ситуациями?

- Да30%;
- Нет70%.

Все работники предприятия четко осознают, что опасная ситуация – это потенциальная возможная угроза для здоровья и жизни человека. И, так же есть люди, которые реально сталкивались с опасными ситуациями в своей трудовой деятельности.

Из проведенного опроса можно сделать следующие выводы: все работники четко понимают опасность своей деятельности, но не все полностью осведомлены о правилах безопасности; более того, работники не всегда могут следовать безопасным инструкциям не по своей вине; каждый работник пытается избегать подобных ситуаций и максимально прикладывать усилия к «правильному» выполнению работ.

Для выявления типичных нарушений был проведен хронометраж рабочего дня электромонтера СЦБ. Проведение наблюдения за работой электромонтера представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Анализ наблюдения за рабочей сменой электромонтера

Время, час:мин	Содержание этапа наблюдения	Анализ соответствия инструкции
7:45	Электромонтер приходит на работу	Соответствует
7:45-7:55	Электромонтер переодевается в гардеробной на посту ЭЦ в спецодежду, спецобувь, сигнальный жилет	Соответствует
8:00	В кабинете старшего электромеханика электромонтер проверяется алкотестером на наличие алкоголя в крови	Возможное (частичное) соответствие
8:00-8:40	Планерное совещание, проводят руководители и диспетчер Н. Старший электромеханик проводит инструктаж, который фиксируется в журнале. Старший электромеханик проверяет знания технологической карты №16, проверяет наличие документов, наличие средств защиты. Электромонтер расписывается в журнале и приступает к работе	Соответствует

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Продолжение таблицы 2

Время, час:мин	Содержание этапа наблюдения	Анализ соответствия инструкции
8:40-8:55	Электромонтер и электромеханик в мастерской на посту ЭЦ собирают слесарный инструмент для выполнения работы по технологической карте №16	Соответствует
8:55-9:10	Электромеханик и электромонтер изучают маршрут безопасного прохода по станции для выполнения работы	Возможное соответствие
9:10-9:20	Электромеханик оформляет запись в журнал ДУ 46 у дежурного по станции (далее – ДСП) на проведение данной работы согласно технологической карте №16	Соответствует
9:20-9:30	Электромеханик и электромонтер идут к месту работы по маршруту служебного прохода по станции	Соответствует
9:33	Электромеханик запрашивает по парковой связи у ДСП разрешение на осуществления внешнего осмотра СЦБ в районе стрелки №1	Соответствует
9:35	ДСП разрешает производить работу электромеханику СЦБ	Соответствует
9:35-9:45	Электромонтер и электромеханик осуществляют наружный осмотр в районе стрелочного перевода №1. Электромеханик осуществляет роль наблюдающего, так как является страшим группы по технике безопасности	Соответствует
9:45	Электромеханик по парковой связи сообщает ДСП: «В районе стрелки №1 наружный осмотр закончен, будем работать в районе стрелки №3». С разрешения ДСП электромеханик и электромонтер переходят в район стрелки №3 по маршруту служебного прохода и осуществляют работу	Соответствует
9:45-9:55	Производится работа в районе стрелки №3	Возможное соответствие
9:55	Электромеханик запрашивает ДСП по парковой связи, говоря: «На стрелке №3 работа закончена»	Соответствует
9:56	ДСП отвечает: «Принято»	Соответствует
9:57	Электромеханик запрашивает разрешение на производство работ по парковой связи на стрелку №5	Соответствует
9:58	ДСП разрешает	Соответствует
9:58-10:15	Электромеханик и электромонтер производят работу	Соответствует
10:15	Электромеханик говорит ДСП по парковой связи, что работа на стрелке №5 закончена, переходим работать на стрелку №7 по замене электродвигателя	Соответствует
10:17-11:50	Производятся работы на стрелке №7 по осмотру стрелки и замене электродвигателя	Соответствует
11:51	Электромеханик говорит по парковой связи ДСП, что работу закончили, проверяем работу стрелки №7	Соответствует
11:52-11:55	ДСП переводит стрелку №7	Соответствует
11:55	Электромеханик говорит по парковой связи ДСП, что на стрелке №7 работу закончили, уходим на обед	Соответствует
11:56-12:00	Электромеханик и электромонтер идут в помещение для приема пищи	Возможное соответствие
12:00-13:00	обеденный перерыв	Соответствует
13:00-16: 40	Те же работы в четной горловине на стрелках №2, 4, 6, 8	Соответствует
16:40	Электромеханик и электромонтер приходят в мастерскую, раскладывают слесарные инструменты, электромонтер приводит рабочее место в порядок	Соответствует
16:50	Оформляют запись в журнал формы ШУ№2 о проделанной работе. Старший электромеханик производит проверку алкотестером	Соответствует
16:55	Электромонтер переодевается в гардеробной	Соответствует
17:00	Электромонтер идет домой	Возможное соответствие

Содержание этапов наблюдения во многом соответствует типовой инструкции по охране труда для электромонтеров. Возможные несоответствия обусловлены независимыми от работников причинами.

Для определения предпосылок и последствий однотипных поведенческих событий (этап анализа ПАБ) были выявлены их частные характеристики (таблица 3).

Таблица 3 – Выявление однотипных поведенческих событий

Однотипные поведенческие события	Описание события	Частные характеристики
Проверка состояния электропривода и стрелочной гарнитуры стрелок без внешних замыкателей	Наружным осмотром проверить состояние стрелочных электроприводов, гарнитур с простукиванием слесарным молотком проверить надежность и правильность крепления всех узлов электропривода, стрелочной гарнитуры. При необходимости очистить от грязи шиббер, контрольные линейки, а также гарнитуру с помощью металлического скребка или металлической щетки с последующей протиркой ветошью, смоченной в керосине, болтовые и шарнирные соединения смазать смазкой; Болтовые соединения должны быть плотно закреплены гайками и контргайками. Элементы крепления электропривода и гарнитуры должны соответствовать установочным чертежам. При наличии на тягах забоев и коррозии металла плавно зачистить дефектное место шлифовальной бумагой; Визуальным осмотром с простукиванием слесарным молотком проверить целостность закруток на втулках фиксатора тяг, болтах планки крепления контрольных линеек и тяги	– надлежащие использование оборудования (слесарный молоток, гаечные двусторонние ключи, металлическая щетка, металлический скребок, шлифовальная бумага, отвертка); – правильное и безопасное проведение действий (проверка наружным осмотром состояния электропривода и стрелочных гарнитур, проверка визуальным осмотром целостность закруток на втулках фиксатора тяг, болтах и тяги); – использование СИЗ (перчатки, рукавицы, очки, сигнальный жилет, носимые радиостанции или другие средства связи с дежурным по станции)
Проверка плотности прижатия остряка к рамным рельсам	Проверить плотность прижатия остряков к рамному рельсу, пытаясь отжать остряк от рамного рельса, при запертом положении стрелки. Для этого с торца остряка между остряком и рамным рельсом вложить конец ломика и отжать остряк от рамного рельса. Зазор должен быть менее 4 мм, что проверить щупом 4 мм, который не должен входить в зазор. Щуп вставляется напротив серьги первой межостряковой тяги	– надлежащие использование оборудования (малый ломик, набор стрелочных щупов, контрольная линейка); – правильное и безопасное проведение действий (проверка плотности прижатия остряков к рамному рельсу, произвести повторную проверку); – использование СИЗ (сигнальный жилет, рукавицы, перчатки, носимые радиостанции или другие средства связи с дежурным по станции)
Наружная чистка электропривода и стрелочных гарнитур	Ветошью (техническим лоскутом), смоченной керосином (отработанным машинным или трансформаторным маслом), протереть электропривод, фундаментные угольники, межостряковую, рабочую и контрольные тяги. Смазать шарнир с «пальцем», «пальцы», оси контрольной и рабочей тяг; болты, крепящие электропривод, стрелочную гарнитуру, связную полосу. Ветошью удалить старый смазочный материал с поверхностей рабочего шиббера и контрольных линеек, при необходимости их зачистить шлифовальной бумагой, а затем смазать	– надлежащие использование оборудования (керосин, машинное или трансформаторное масло, смазка ЦИФТИМ-201 (ЦИАТИМ-202), технический лоскут, шлифовальная бумага); – правильное и безопасное проведение действий (протереть электропривод и контрольные тяги, смазать шарнир и оси контрольной и рабочей тяг, удалить старый смазочный материал); – использование СИЗ (рукавицы, перчатки, сигнальный жилет, носимые радиостанции или другие средства связи с дежурным по станции)

Продолжение таблицы 3

Однотипные поведенческие события	Описание события	Частные характеристики
Оформление результатов	После окончания работы по наружной очистке электроприводов и комплекса переводных и замыкающих устройств сообщить об этом дежурному по станции и сделать запись в Журнале осмотра. О выполненной работе сделать запись в журнале формы ШУ-2	– надлежащее использование оборудования (журналы формы ШУ-2 и ДУ-46); – правильное и безопасное проведение действий (сообщить дежурному по станции, сделать запись в журналы формы ДУ-46 и формы ШУ-2); – использование СИЗ (сигнальный жилет, носимые радиостанции или другие средства связи с дежурным по станции)

Последствия неправильных поведенческих событий может нанести как легкую травму, так и завершиться летальным исходом для человека.

Для определения предпосылок воспользуемся таблицей 3 и рассмотрим на примере однотипного поведенческого события – проверка плотности прижатия острых к рамным рельсам, подвижного сердечника к усовикам крестовины непрерывной поверхности катания (таблица 4).

Таблица 4 – Предпосылки и последствия поведенческих событий при проверке плотности прижатия остряка к рамным рельсам

Предпосылки	Последствия
– надлежащее использование оборудования (слесарный молоток, гаечные двусторонние ключи, металлическая щетка, металлический скребок, шлифовальная бумага, отвертка); – правильное и безопасное проведение действий (проверка наружным осмотром состояния электропривода и стрелочных гарнитур, проверка визуальным осмотром целостность закруток на втулках фиксатора тяг, болтах и тяги); – использование СИЗ (перчатки, рукавицы, очки, сигнальный жилет, носимые радиостанции или другие средства связи с дежурным по станции)	Ушиб; порезы или повреждения поверхности тканей острым инструментом; поражения глаз осколками металла или стружкой (ранение, ожоги, засорение); ожоги; поражения электрическим током; получение механической травмы (кровотечение); открытые и закрытые переломы; растяжении связок; органов слуха от воздействия шума; органов дыхания от воздействия пыли, дыма и газов; при работе на улице возможность получения обморожения (в зимний период), так же солнечный или тепловой удар (в летний период времени); возможен ожог пальцев и занозы от шлифовальной бумаги

На основании проведенного ПАБ были разработаны следующие рекомендации:

– для повышения уровня персональной ответственности за соблюдение требований безопасности рекомендуется увеличить объем проводимого предсменного инструктажа (речевое проговаривание маршрута безопасного прохода с одновременным использованием схемы рабочего участка, повторение безопасного регламента использования оборудования, материалов и т.д.) и частоту проверки знаний для электромонтеров со стажем работы до 5 лет и стажем работы свыше 15 лет (наиболее уязвимые категории работников);

– для исключения ситуаций, связанных с травматизмом из-за плохого самочувствия, рекомендуется расширить предсменный медицинский осмотр (добавить проверку артериального давления, частоты сердечных сокращений и других показателей) с целью определения фактического психофизиологического состояния работника (особенно для работников со стажем более 15 лет);

– при возникновении ситуации, в которой работник не может соблюдать требования безопасности по чужой вине – срочно сообщить руководителю работ и руководителю предприятия о возникшей внештатной ситуации по мобильной или радиосвязи и дождаться решения руководства;

– проводить ежедневный осмотр средств индивидуальной защиты и средств связи на предмет целостности и исправности перед заступлением на смену и после нее. При выявлении неисправностей срочно оповестить руководителя работ;

– для повышения производительности труда рекомендуется выполнять все производст-

венные операции с учетом эргономических требований: правильное и последовательное расположение инструментов (движения должны выполняться по траектории «справа–налево» и «сверху–вниз»; оборудование и инструменты должны располагаться в зонах досягаемости с учетом частоты их использования); всё оборудование с элементами средств отображения информации (табло, шкала и т.д.) должно находиться в оптимальной зоне видимости для качественного и правильного считывания показаний.

Применение ПАБ позволит своевременно выявлять однотипные поведенческие события, которые являются предпосылками к травматическим случаям, правильно прогнозировать последствия нарушений требований безопасности и снижать «человеческий фактор» в причинах травматизма и заболеваемости. Также ПАБ положительно влияет на увеличение производительности труда за счет эргономически оптимального построения технологического процесса и сохранения энергозатрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Черкасов, В.В. Личное дело. Безопасность труда зависит от отношения к вопросу и руководителей, и работников/ В.В. Черкасов // -Гудок. -2010. -Вып. 10.02.2010. -Режим доступа: <http://www.gudok.ru/newspaper/?archive=2010.02.10&ID=695969>. -15.01.2018.
- 2 Завьялов, А.М. Повышение безопасности труда на железнодорожном транспорте на основе снижения влияния человеческого фактора: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.26.01 / Завьялов Антон Михайлович. -М., 2017. -48 с.
- 3 Методические рекомендации по процессу поведенческих аудитов безопасности (ПАБ) в ОАО «РЖД» / Утв. В.В. Черкасовым. -М.: Изд-во ОАО Рос. Жел. Дорог, 2011. -24 с.

REFERENCES

- 1 Cherkasov V.V. Personal record. Workplace safety depends on the attitude to the issue of both managers and employees [Lichnoe delo. Bezopasnost' truda zavisit ot otnosheniya k voprosu i rukovoditelei, i rabotnikov]. *Journal Gudok*. 10 Feb. 2010. URL: <http://www.gudok.ru/newspaper/?archive=2010.02.10&ID=695969>. -15 Jan. 2018.
- 2 Zav'yalov, A.M. Increase of railroad workplace safety on the basis of reducing the impact of human factor [Povyshenie bezopasnosti truda na zheleznodorozhnom transporte na osnove snizheniya vliyaniya chelovecheskogo faktora]. Moscow. Russian Univ. of Transp. Publ. 2017. 48 p.
- 3 Guideline for behavior-based safety audit (BBS) in JSC Russian Railways [Metodicheskie rekomendatsii po protsessu povedencheskikh auditov bezopasnosti (PAB) v ОАО «RZhD»]. Moscow. Russian Railways. 2011. 24 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: поведенческий аудит безопасности, железнодорожный транспорт, человеческий фактор, производственный травматизм и заболеваемость, безопасный регламент работ

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Павлова Вера Львовна, канд. экон. наук, доцент СГУПС
Рублев Максим Григорьевич, канд. биол. наук, доцент СГУПС
Токарева Наталья Евгеньевна, аспирант СГУПС

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, СГУПС

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ НОВЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР ПО УРОВНЯМ УПРАВЛЕНИЯ НА РЕЧНОМ ТРАНСПОРТЕ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.В. Зачёсов, И.С. Дерябина

THEORETICAL FOUNDATIONS OF NEW ORGANIZATIONAL STRUCTURES BUILD-UP AT LEVELS OF MANAGEMENT OF RIVER TRANSPORT

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia
Aleksandr V. Zachyosov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)
Irina S. Deryabina (Assoc. Prof. of SSUWT)

ABSTRACT: Authors consider specifics of river enterprises operation in present context.

Keywords: elements of market, organizational structure

Рассмотрены особенности работы речных предприятий в рыночных условиях и пути их реализации.

При постановке и решении проблемы оптимизации транспортной системы Сибири с использованием внутренних водных путей важное место занимает составляющая по формированию новых организационных структур по уровням управления. Это обусловлено особенностью работы речных предприятий в рыночных условиях.

До проведения экономических реформ в России на транспорте, в том числе и на речном, действовал четкий порядок деятельности транспортных организаций, основанный на принципах директивно-плановой экономики.

Работа речного транспорта планировалась и оценивалась по показателям перевозок грузов (количество перевозок в тысячах тонн и грузооборот в миллионах тоннокилометров).

На бытовом уровне существовал, по этому поводу, известный афоризм «бери больше, вези дальше». При такой системе организации работы флота возникали на реках встречные перевозки одноименной номенклатуры грузов (строительные, лесные и т.п.), что способствовало повышению показателей перевозок конкретного пароходства [1].

В условиях перехода экономики на рыночные отношения меняется вся система управления работой пароходства. В этой ситуации необходима новая экономическая модель функционирования речного транспорта в целом и отдельного судоходного предприятия в частности. Такая модель, в первую очередь, должна учитывать особенности работы речных предприятий в рыночных условиях. Основные особенности сводятся к следующему.

- Предприятия акционировались. Они самостоятельно принимают решения по всем видам своей деятельности, находятся на самоокупаемости, не получают государственной поддержки, основная цель работы транспортного предприятия – получение прибыли, что коренным образом отличается от ранее действующих показателей перевозок.

- Транспортные предприятия организуют свою работу в условиях дефицита перевозок, когда потенциальные возможности флота и портов используются не полностью. В течение навигации приходится в оперативном порядке менять схему работы флота в соответствии с реальными грузовыми потоками, которые постоянно меняются во времени и пространстве.

- Государственные бассейновые управления водных путей и судоходства не получают из государственного бюджета необходимого финансирования на производство путевых работ по коренному улучшению судоходных условий на реках, которые в результате переходят в естественное состояние.

- В условиях самофинансирования судоходные предприятия не стремятся развивать систему завоза грузов на север, поскольку себестоимость этих перевозок высокая. В результате страдает северный завоз, а это с государственных позиций недопустимо.

- В бассейнах появилось много собственников, в том числе малые компании, которые не способны удовлетворить запросы крупных предприятий из-за недостатка своих мощностей. Появляются судовладельцы, которые работают без государственной регистрации. Они не содержат социальную сферу, не платят налоги, не проходят контроль на техническое, противопожарное и прочее состояние судов с известными негативными последствиями.

Новая экономическая модель функционирования речного транспорта из-за сложности её разработки и недостатка опыта работы предприятий в условиях рынка, пока не создана, но отдельные фрагменты такой модели есть, в том числе и в бассейнах Сибири.

В частности, к ним можно отнести следующие: территориально-производственные и промышленно-транспортные комплексы, ассоциации портов и судовладельцев речного транспорта, холдинговые компании, совместные концессии промышленных предприятий и судоходных компаний, транспортная логистика, целевые комплексные научно-технические программы.

Часть этих фрагментов организационных структур носит общий характер и распространяется на все бассейны без исключения, часть из них используется только в одном бассейне и развивается с учётом их географического расположения и развития производительных сил, тяготеющих к конкретному бассейну [2].

В конце 1960-х начале 1970-х годов в Сибири приступили к формированию территориально-производственных комплексов (ТПК) Западно-Сибирского, Канско-Ачинского, Братско-Усть-Илимского, Южно-Якутского и других. Основная цель создания ТПК – объединить взаимосвязанные хозяйственные объекты отдельных районов региона, осуществить концентрацию и обеспечить эффективное использование на ограниченной территории трудовых и природных ресурсов, создать единую инфраструктуру, удовлетворяющую потребность всех отраслей региона. Важнейшим элементом производственной инфраструктуры этих комплексов, осуществляющих внутри – и межрегиональные связи в Сибири является транспорт, в том числе и речной, который играет исключительную роль в хозяйственном освоении многих территорий.

В 1995 году в России учреждена Ассоциация портов и судовладельцев речного транспорта (АПСРП), как независимая негосударственная, коммерческая организация, объединяющая на добровольной основе предприятия речного транспорта с целью координации деятельности в решении производственных, научно-технических, социально-экономических задач, представления интересов членов АПСРП в органах государственной власти, а также

правовой защиты их интересов, оказание информационных, юридических, снабженческих и других услуг. Членами АПСРТ являются более восьмидесяти организаций.

В 1999 году было принято решение на заседании Совета АПСРТ о создании бассейновых филиалов в Обь-Иртышском бассейне (Томск, Тюмень).

В 2000 году в Томске образован Обский АПСРП. Основными задачами филиала определены следующие: планирование работы флота; координация деятельности членов ассоциации; организация их взаимодействия в пределах бассейна; информационное обслуживание и постоянная оперативная связь участников ассоциации; изучение рынка транспортных услуг в бассейне; разработка технологических и организационных мероприятий по взаимодействию членов ассоциации со смежными видами транспорта; разработка рекомендаций по развитию судоходства на перспективный период.

Для решения этих задач подготовлено постановление губернатора Томской области о создании Координационного Совета промышленно-транспортного комплекса (ПТК) во главе с заместителем губернатора. В состав вновь созданного ПТК вошли 13 организаций: речной транспорт области, Кузбасское отделение Западно-Сибирской железной дороги, предприятия автомобильного транспорта, авиации, дирекция дорожного фонда, строительный комплекс, Востокгазпром, комитет материально-технических ресурсов области, мэрия города Томска, департаменты по строительству в ЖКХ, энергетике, транспорту, связи, дорожному хозяйству, а также департамент лесного хозяйства.

Другой формой сотрудничества и согласованной работы разрозненных предприятий речного транспорта на современном этапе является управляющая холдинговая компания.

В республике Саха (Якутия) в 2003 году была образована ООО Холдинговая компания «Якутский речной порт». В целом холдинг представляет комплекс транспортных услуг, связанных с перевозкой грузов и пассажиров речным транспортом в бассейне реки Лена от порта Осетрово до Жиганска включая боковые притоки р.Алдан и р.Вилуй, а также переработкой и хранением груза в портовых терминалах. Холдинг «Якутский речной порт» это группа компаний, каждая из которых является самостоятельным юридическим лицом. Между собой компании, входящие в состав Холдинга связаны посредством управления головной компанией. Основным принципом и задачей головной компании является не вмешательство в оперативное управление собственной деятельностью предприятий Холдинга. Вместе с тем, путем контроля основных показателей работы этих компаний, головная компания осуществляет разработку единой стратегии бизнеса, инвестиционную политику, и естественно, общее корпоративное управление предприятиями, согласовывает взаимодействие участников входящих в Холдинг в пределах обусловленных норм отношений и общих правил в соответствии с принятым регламентом управления Холдингом [3].

Структура Холдинга состоит из восьми предприятий:

- ООО Холдинговая компания «Якутский речной порт». Направление деятельности – управление Холдингом;
- ООО Судоходная компания «Якутск». Направление деятельности – реализация песка и песчано-гравийной смеси. Перевозка грузов и в том числе погрузо-разгрузочные работы. Осуществление паромной переправы;
- ООО Речной порт «Якутск». Направление деятельности – погрузо-разгрузочные работы на территории порта. Хранение и переработка грузов;
- ООО «Пассажирское Райуправление». Направление деятельности – чартерные и туристические рейсы. Пассажирские перевозки;
- ООО Судоходная компания «Вилуй». Направление деятельности – перевозка пассажиров. Перевозка грузов;
- ООО «Столовая речного порта». Направление деятельности – организация общественного питания пассажиров и работников порта;
- ИП Производственный участок «Стройблок». Направление деятельности – производство мелкоштучных бетонных блоков, щебня.

Перед транспортом Сибири стоит задача увеличить инвестиции в опережающее развитие транспортной инфраструктуры, обеспечить рост внебюджетных инвестиций в проекты развития транспортной инфраструктуры. Основным инструментом внебюджетного финансирования в проекты транспорта являются концессии и государственно-частное партнерство.

В АО «Енисейское речное пароходство» (АО «ЕРП») решается вопрос интеграции

транспортных технологий с индустриальными, когда ПАО «ГМК Норильский Никель» стал одним из собственников парохозяйства вместе с компаниями входящими в его группу. Доля этой группы компаний в структуре объемов грузоперевозок парохозяйства составляет 60% всех грузопотоков, в том числе соответственно ПАО «ГМК Норильский Никель» – 53%, АО «Норильскгазпром» – 3%, АО «Таймырская топливная компания» – 4%.

С 2002 года АО «ЕРП» выступает оператором по поставке социально-значимых грузов в административные районы Красноярского края. Ситуация после этого в парохозяйстве изменилась к лучшему. Сейчас нет необходимости дробить грузовую базу для Норильска и северных территорий на суда принадлежащие парохозяйству и арендованных у других перевозчиков. В этом случае появляется возможность повысить коэффициент загрузки флота и показатели его использования. Кроме этого ПАО «ГМК Норильский Никель» осуществляет кредитование перевозок парохозяйства, что намного эффективнее банковских кредитов.

Таким образом, парохозяйство становится генеральным перевозчиком для Таймырского автономного округа, а ПАО «ГМК Норильский Никель» встроил АО «ЕРП» в свою систему.

Учитывая тот факт, что 25,5% акций парохозяйства находится у государства изменения, прошедшие в организации его работы, не ограничиваются перевозками грузов только для Норильска. Парохозяйство имеет возможность осуществлять нормальные перевозки на боковые и малые реки, в том числе и в направлении Эвенкии.

Таким образом, речной транспорт выступает на рынке транспортных услуг в новой роли, начинается новый этап его развития.

Завоз грузов в пункты малых рек осуществляется через целевые комплексные программы государственной поддержки, которые разрабатываются в двух вариантах: федеральные, имеющие государственный заказ и региональные путем организации мобильных транспортно-перегрузочных комплексов (МТПК). Эти комплексы создаются на базе крупных портов, выполняющих роль районного центра обслуживания группы малых рек. Единство руководства достигается тем, что во главе всей работы по завозу грузов стоит заместитель генерального директора судоходной компании. В работу комплекса включаются работники судоходной компании: инженеры службы перевозок и движения флота, грузовой и коммерческой работы, портов, отдела кадров, а также капитан-наставник (начальник каравана) и представители базового порта, грузоотправителя и грузополучателя, а также представители администрации заинтересованных районов.

Перевозка грузов на территории Сибири может осуществляться с использованием различных видов транспорта по конкретному направлению. В этом случае можно достигать эффективности перевозок основываясь на принципах логистики.

Логистика объединяет деятельность различных предприятий, интегрирует процесс достижения поставленной цели с минимальными затратами времени и ресурсов за счёт оптимального сквозного управления материальными, финансовыми и информационными потоками. В центрах логистики, основываясь на развитии и функционировании производительных сил отдельных районов, готовится генеральная схема основных грузопотоков. Сущность такой схемы сводится к определению основных мест в производстве ресурсов с их количественными и качественными характеристиками, а также мест потребления соответствующих ресурсов. Центр логистики заключает договора со всеми субъектами принимающими участие в продвижении грузового потока.

При этом транспортно-логистические узлы на территории Сибири должны располагаться в крупных административных центрах, где сосредоточены смежные виды транспорта: Тюмень, Омск, Новосибирск, Красноярск, Дудинка, Усть-Кут, Якутск, Хабаровск.

Таким образом, новые организационные структуры управления в настоящее время могут действовать в Восточных бассейнах в зависимости от их географического месторасположения и развития производственных сил региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Зачёсов, В. П. Технология и организация перевозок на речном транспорте: учеб. пос. / В.П. Зачёсов, В.Г. Филоненко. -Новосибирск: Сибирское соглашение, 2004. -400 с.
- 2 Рагулин, И. А. Управление работой речного флота Сибири: учеб. пос. / И.А. Рагулин. -Новосибирск: Сибирская издательская фирма Наука, 2003. -308 с.
- 3 Зачёсов, В. П. Малые реки Сибири: монография.

REFERENCES

- 1 Zachesov V.P., Filonenko V.G. River transportation management and procedures [Tekhnologiya i organizatsiya perevozok na rechnom transporte]. Novosibirsk. Sibirskoe soglasenie Publ. 2004. 400 p.
- 2 Ragulin I.A. River fleet operations management [Upravlenie rabotoi rechnogo flota Sibiri]. Novosibirsk. Sibirskaya izdatel'skaya firma Nauka Publ. 2003. 308 p.
- 3 Zachesov V.P., Malyushin M.V. Minor rivers of Siberia: article

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: составляющие рынка, организационная структура
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Зачёсов Александр Венедиктович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Дерябина Ирина Сергеевна, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ПЕРЕВОЗОК ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

В.П. Носов, А.С. Домнин, Е.С. Кадникова, В.Н. Попов

PROVISION OF RELIABILITY OF TIMBER CARGO TRANSPORTATION

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Vladimir P. Nosov (Ph.D. of Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

Aleksandr S. Domin (Student of SSUWT)

Elena S. Kadnikova (Assistant Professor of SSUWT)

Viktor N. Popov (Assistant Professor of SSUWT)

ABSTRACT: This paper contains analysis of the work of railway, motor and water transport modes during the transshipment and transportation processes of timber cargo delivery. Authors give the requirements for reliable delivery of timber cargoes taking into account safety engineering based on rules into effect, instructions, and accidents.

Keywords: timber cargoes, transportation and transfer work, safety engineering, hazardous events

Выполнен анализ работы железнодорожного, автомобильного и водного видов транспорта при перегрузочных и перевозочных процессах доставки лесных грузов. Приведены требования, предъявляемые для надёжной доставки лесных грузов с учётом техники безопасности на основе существующих правил и инструкций, случаи аварий.

Территория России является огромной по размерам. По площади она является крупнейшей страной мира и расположена на востоке Европы (около 24% площади страны) и на севере Азиатского континента (около 76% своей территории). Россия занимает около 1/3 территории Евразии и 1/9 земной суши планеты.

Учитывая огромные размеры, Россия, как и любая страна, обеспечивает население всем необходимым для жизнедеятельности и производства продукции.

Российская Федерация ежегодно перевозит всеми видами транспорта сотни миллионов тонн грузов: важнейшие материалы, товары, продукты из тех мест, где они производятся, где они произрастают, образуются и существуют. При этом, только общее количество наименований перевозимых грузов превышает несколько тысяч.

Большую долю в общем грузообороте Российских перевозок составляют лесные грузы - круглые лесоматериалы, пиломатериалы (доски, бруски, брусья, шпалы, различные заготовки), щепы (для производства целлюлозы, древесных плит и химической промышленности), изделия из лесных грузов (фанера, паркет, столярные изделия) и др.

При этом, важнейшей составляющей в доставке лесных грузов является безопасность производства перегрузочных и перевозочных процессов, и в первую очередь, из-за его малых удельных перегрузочных объемов – 0,7-1,2 т/м³ и больших размеров самих лесных изделий.

В обществе нет проблем важнее, чем предотвращение несчастных случаев на транспорте, но, к сожалению, при подъемах и перемещениях грузов грузоподъемными и транспортными машинами могут возникать опасные производственные ситуации.

Безопасность жизнедеятельности - важный ключевой параметр на транспорте в целом и особенно на лесных перевозках. Основными требованиями к мерам безопасности перемещений грузов являются:

- строгое соблюдение правил безопасности, согласно инструкций;
- предотвращение гибели людей по неосторожности;
- исключение проблем травматизма транспортных работников.

В настоящее время многие на транспорте работают без аварий и без производственного травматизма, а по статистике на первом месте по предотвращению травматизма находятся железные дороги России.

Вместе с тем, на отдельных участках работ всех видов транспорта иногда происходят аварии и несчастные случаи, связанные с нарушениями работ, особенно где не полностью соблюдаются требования производственных инструкций, регламентов и правил безопасности при эксплуатации перевалочных средств и средств доставки продукции.

Основными причинами несчастных случаев на практике бывают:

- допуск к обслуживанию грузоподъемной машины необученных или малоопытных рабочих в качестве стропальщиков;
- неправильная (или ненадежная) застропка или отстропка груза;
- применение для подъема груза непригодных или бракованных грузозахватных приспособлений или тары;
- несоблюдение схем и габаритов складирования грузов;
- нарушение требований безопасности при перегрузочных процессах;
- нахождение людей в полувагоне, на платформе, в кузове автомашины, трюме судна, траншее, котловане, колодце при перемещениях груза;
- нахождение людей в кабине автомашины при погрузке/разгрузке;
- нахождение людей вблизи поворотной части грузоподъемной машины (платформы, противовеса и т. п.);
- несоблюдение требований безопасности при установке грузоподъемной машины на выносные опоры;
- нахождение людей вблизи стены колонны, штабеля или оборудования во время подъема или опускания груза;
- нахождение людей в зоне действия магнитных или грейферных захватных приспособлений кранов;
- подъем груза неизвестной массы или примерзшего, засыпанного землей, закрепленного болтами, заваленного или залитого бетоном;
- обрыв грузовых или стреловых канатов (падение груза, стрелы);
- несоблюдение требований безопасности при монтаже технологического оборудования и магистральных трубопроводов;
- нарушение требований безопасности при установке и производстве работ грузоподъемными машинами вблизи линии электропередачи и др.;

Рассмотрим некоторые проблемы, связанные с нарушением безопасности производства работ на железнодорожном, автомобильном и водном транспорте при перевозках лесных грузов, древесины, в натуральном и в переработанном виде.

Железнодорожный транспорт. По статистике жизненных ситуаций железнодорожный транспорт считается одним из самых безопасных в мире. На нём доставляется больше всего лесных перевозок – около 54%, эффективный транспорт и по скорости доставки. Особенности этого транспорта и в том, что он имеет высокую пропускную способность, относительно автомобильного и водного, играет большую роль в транспортной системе. Однако работы и на данном виде транспорте требуют весьма ответственного и безопасного подхода (рисунки 1-3).



Рисунок 1 – Перевозка круглого леса на железнодорожных платформах с металлическими стойками, скрепленными сверху металлической проволокой



Рисунок 2 – Загрузка полувагонов пиломатериалом с креплением деревянными стойками и металлической проволокой

Перегрузочные процессы. Существуют различные перегрузочные процессы на железнодорожном транспорте. Лесные грузы как погружают в вагоны, так и выгружают из них. Перегрузка лесных грузов осуществляются сложными технологическими процессами, требующими особого внимания. Закрепление грузов ведётся металлическими или деревянными стойками, перегрузка производится сложными перегрузочными машинами и специальными грузозахватными устройствами, приспособлениями.

Специально обученные рабочие принимают непосредственное участие на застропках и отстропках лесных грузов, с учетом активной работы специальной техники и специальных перегрузочных приспособлений.

Важное значение имеет техника безопасности при перегрузке лесных грузов. Застропка груза требует внимательного соблюдения правил безопасности. Рабочие должны аккуратно принимать груз, закреплять его.

Однако возможны ситуации, когда при подъёмах смещаются лесные грузы в захватных приспособлениях, а рабочие их вовремя не замечают. Либо крановщики не проконтролировали правильное соединение стропов с грузозахватными устройствами.

Также перегрузка в вагоны бывает отдельными местами со специальными металлическими стойками. Этот способ безопаснее, но более дорогостоящий.

Транспортировка лесных грузов. При транспортировке лесных грузов вагонами следует учитывать такие требования, как: надёжность закрепления, соблюдение скорости движения по различным участкам железной дороги, отсутствие на ней посторонних предметов, влекущих сход с рельс вагонов или целого железнодорожного состава, рисунок 8.

В процессе перевозки лесных грузов важно соблюдать допустимую скорость движения транспортных средств, снижая её на различных поворотах, обеспечивать безопасное состояние путей сообщения, постоянно следить за правильным размещением груза в пути.

Если груз закреплен в вагонах неправильно, он может смещаться. Если машинист превышает скорость на поворотах, он рискует своей жизнью и жизнью других людей, а также вероятностью опрокинуть груженный железнодорожный состав, рисунок 8.

Автомобильный транспорт. Автомобилями перевозится около 30% лесных грузов и он считается самым опасным видом транспорта. Он на первом месте по числу аварий на транспорте, но имеет более широкие возможности для передвижения и своевременного обеспечения многочисленных потребителей лесной продукцией (рисунок 4 и 5).



Рисунок 3 – Перевозка круглого леса в железнодорожных полувагонах с деревянными стойками, скреплёнными сверху металлической проволокой



Рисунок 4 – Перевозка круглого леса автомобилями с прицепами, с металлическими стойками, скреплёнными металлической проволокой



Рисунок 5 – Перевозка грузовыми автомобилями пиломатериалов закреплёнными с кузовом специальной прочной капроновой лентой

Основные факторы опасного передвижения, как правило, это незнание или нарушения правил дорожного движения некоторыми водителями автомобилей, а также нарушения в прохождении аварийных участков путей на дорогах.

Роль перевозок автомобильным транспортом значительна. Инфраструктура городских дорог достаточно обширная, она предполагает выход к любым организациям, находящимся в городе или других населённых пунктах. Здесь образуется единое сообщение с другими видами транспорта, когда тяжелые грузовики перемещают лес из портов или железнодорожных площадок в крупные промышленные пункты или места производства строительства.

Перегрузочные процессы. У автомобильного вида транспорта перегрузочные процессы аналогичны железнодорожному. Однако крепления грузовиков несколько отличаются конструкцией от вагонов. В этом случае, при погрузке лесных грузов важно, чтобы техника безопасности соблюдалась точно и полностью. Это учет безопасных дистанций движения и правильное выполнение перевалки или загрузки при участии специально допущенными рабочими.

Транспортировка автомобильным транспортом. Также предполагает технику безопасности передвижения при обязательном соблюдении двух основных требований.

Во-первых, надёжное закрепление груза. Во-вторых, соблюдение допустимой скорости, около 50 км/ч, при средней загрузке автомашины в 4-5 т и с меньшей скоростью, при большей загрузке.

При перевозках грузов автомобильным транспортом необходимо соблюдать допустимую скорость движения, снижать её на поворотах, обеспечивать безопасное состояние автодорог, постоянно следить за правильным размещением грузов в пути.

Водный транспорт. Водный транспорт является одним из самых дешевых видов транспорта при доставках больших партий лесных грузов, он обладает наибольшей вместимостью, но имеет низкую скорость доставки грузов (рисунок 6 и 7).



Рисунок 6 – Выгрузка речного судна с круглым лесом при помощи лесных грейферов



Рисунок 7 – Надёжное и правильное расположение груза на палубном речном судне имеет немаловажную роль для надёжной его перевозки

Морской и речной виды транспорта играют важную роль в местах добычи леса, при перевозках лесных грузов на речных водных участках и на прибрежных перевозках, но и здесь, к сожалению, случаются нарушения требований перегрузочных и перевозочных процессов.

Перегрузочные процессы. Перевалка лесных грузов осуществляется различными способами. Работы производят не только порталные краны на судах-площадках или трюмно-

люковых судах, но и специальные автопогрузчики, при помощи специальных грузозахватных устройств и приспособлений.

Транспортировка лесных грузов. Процесс доставки лесных грузов осуществляется ответственными лицами плавсостава и диспетчерами движений флота. Водный участок морского и речного сообщений должен обеспечивать безопасное прохождение судов с учетом условий плавания (расхождения со встречным флотом, осадки судна, направления ветра, глубин под днищем судна, волнения воды).

Важными особенностями водного транспорта являются: отсутствие твердых объектов на судоходном речном канале, морских и океанских просторах, как правило, отсутствие рифов в морях и океанах, необходимость правильного размещения, раскрепления и постоянное слежение за состоянием грузов на палубах и в трюмах.

Основные причины опасных ситуаций на транспорте. Источниками основных опасных причин на транспорте являются случаи несоблюдения необходимых правил и инструкций по безопасности производства некоторых перегрузочных и перевозочных транспортных процессов.

- нарушения при перегрузочных процессах;
- нарушения соблюдения допустимых скоростей по участкам пути;
- наличия поврежденных участков путей сообщения.

Примеры опасных случаев при перевозках. Ниже приведены некоторые происшедшие несчастные случаи, связанные с аварийными ситуациями на транспорте при эксплуатации грузоподъемных машин и транспортных средств:

Случай 1. На выгрузке полувагона порталным краном пакетов с лесными грузами один из последних пакетов зацепился за проволоку. Стропальщик, после застропки пакета, отошел в противоположную сторону полувагона. Крановщик, поднимая пакет заметил зацеп за что-то.

После этого, крановщик для освобождения пакета от зацепа стал уменьшать вылет стрелы крана на себя, а оказалось – на стропальщика. Пакет вышел из зацепления и по амплитуде, вместе с грузом, ударился в противоположную торцевую стенку полувагона, где стоял стропальщик, который погиб.

По инструкции крановщик не имел права работать краном до тех пор, пока портовый рабочий не покинул полувагон.

Случай 2. На выгрузке лесных грузов был использован автомобильный кран КС-2561. Место перегрузки находилось в тесных условиях работы, рядом с воздушными линиями электропередачи напряжением 0,4 кВ и 10 кВ, расположенными на опорах в два яруса.

Расстояние от грузовых канатов при поднятой стреле крана до проводов линии электропередачи напряжением 10 кВ составляло 0,5 м.

Учитывая, что к выгрузке груза были допущены двое необученных рабочих в качестве стропальщиков, один из них при застропке груза потянул строп вместе с грузовой подвеской крана в сторону линии электропередач, в результате чего произошло касание линии электропередач грузовым канатом крана.

Кран оказался под высоким напряжением. Погибли рабочие, державшие в руках стропы. Они были поражены электрическим током.

Случай 3. 19 июля 2017 г. примерно в 16 ч 20 мин в Сафоновском районе на трассе Москва-Минск на железнодорожном переезде перевернулся грузовик, перевозивший бревна [1] (рисунок 9).

Случай 4. 4 сентября 2014 г. из-за смещения груза в Японском море перевернулось судно Полайн [2].

К сожалению, подобных случаев, связанных с серьезными нарушениями Правил техники безопас-



Рисунок 9 – На трассе Москва-Минск 19 июля 2017 года перевернулся грузовой прицеп автомобиля с брёвнами

ности достаточно, страдают и погибают люди. Случаев было бы меньше, если бы все они выполняли Правила и инструкции безопасности.

Случаи возможно не только сократить, но и избежать при правильном соблюдении всех правил и инструкций.

Важно всегда помнить, что специалисты профессий технических направлений подготовки ответственны, в первую очередь, за надёжные условия работы и именно они должны требовать от руководителей более тщательного контроля и исполнения участниками опасных работ соблюдения всех требований техники безопасности, требования правил и инструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 В Смоленской области на трассе М1 на перегоне перевёрнулся грузовик. -Режим доступа: <http://www.rabochy-put.ru/incidents/75768-v-smolenskoy-oblasti-na-trasse-m1-na-pereezde-perevernulsya-gruzovik.html>. -10.02.2018.

2 Смещение груза устроило кораблекрушение. -Режим доступа: https://vladnews.ru/ev/vl/3601/40899/smeshchenie_gruza. -10.02.2018.

REFERENCES

1 Truck rolled over In Smolensk oblast' on railroad crossing of M1 highway [V Smolenskoi oblasti na trasse M1 na pereezde perevernulsya gruzovik]. URL: <http://www.rabochy-put.ru/incidents/75768-v-smolenskoy-oblasti-na-trasse-m1-na-pereezde-perevernulsya-gruzovik.html>. -10 Feb. 2018.

2 Cargo shift caused a shipwreck [Smeshchenie gruzha ustroilo korablekrushenie]. URL: https://vladnews.ru/ev/vl/3601/40899/smeshchenie_gruza. -10 Feb. 2018.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: лесные грузы, перевозка и перегрузка, техника безопасности, опасные случаи

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Носов Владимир Павлович, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Домнин Александр Сергеевич, студент ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Кадникова Елена Сергеевна, ассистент ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Попов Виктор Николаевич, ассистент ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ ПРИ ЗАГРУЗКЕ ОТКРЫТЫХ СКЛАДОВ ГРЕЙФЕРОМ

ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»

АО Конструкторское бюро по проектированию судов «Вымпел»

Е.И. Адамов, С.Н. Сикарев, Н.С. Отделкин, М.В. Бахров

METHOD OF IDENTIFICATION OF BULK CARGOES LOSS WHEN LOADING OPEN WAREHOUSES BY SCOOP CLAMSHELL
Federal State-Financed Educational Institution of Higher Education "Volga State University of Water Transport" (FSFEI HE «VSUWT») 5, Nesterov St. Nizhny Novgorod, 603005, Russia
Joint-stock company design bureau for shipbuilding "Vympel" (JSC "DB"Vympel") 6, Nartov St., bldg.6, Nizhny Novgorod, 603104, Russia
Evgenii I. Adamov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of FSFEI HE «VSUWT»)
Sergei N. Sikarev (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of FSFEI HE «VSUWT»)
Nikolai S. Otdelkin (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of FSFEI HE «VSUWT»)
Mikhail V. Bahrov (Chief designer of the projects of JSC "DB"Vympel")

ABSTRACT: The article considers the technique of modeling the losses of bulk cargoes caused by dust formation. Taking results into account authors could define the size of cargo losses for real transfer process.

Keywords: dust formation, bulk cargo, scoop clamshell, bulk cargo loss

Рассмотрена методика исследования на моделях, потерь сыпучих грузов от пылеобразования. По результатам этих исследований определена величина потерь груза для натурального перегрузочного процесса.

Предлагаемая методика предусматривает определение потерь сыпучих грузов от пылеобразования при загрузке открытых складов грейферными кранами, так как значительные потери груза от пылеобразования возникают при разгрузке грейфера.

Потери от пылеобразования на складах определяются без учета ветровой эрозии с поверхностей этих складов, и предлагается следующая методика определения потерь.

Методика определения потерь сыпучих грузов от пылеобразования при загрузке открытых складов включает в себя:

- анализ разрабатываемой или существующей технологии загрузки открытого склада грейфером;
- построение моделей грейферов и открытых складов;
- модельные исследования основных процессов пылеобразования с учетом влажности

сыпучего груза, реальных значений скоростей и направлений ветровых потоков;

– определение потерь сыпучих грузов от пылеобразования по результатам модельных исследований для натурного технологического процесса загрузки склада.

Потери груза $N_{ск}$ от пылеобразования при загрузке открытого склада рекомендуется определять по выражениям:

– по прибытию груза в порт в навигацию

$$N_{ск}^M = \sum_{i=1}^n S_i^M q_i^M (n_{цi}^c + n_{цi}^s), \text{ т}; \quad (1)$$

– по отправлению груза из порта в навигацию

$$N_{ск}^M = \sum_{i=1}^n S_i^M q_i^M n_{цi}^s, \text{ т}, \quad (2)$$

где S_i^M – площадь рассеивания потерянного груза за один цикл разгрузки грейфера в i -ом месяце навигационного периода, вышедшая за пределы склада, м^2 ;

q_i^M – удельные потери груза от пылеобразования за один цикл разгрузки грейфера на единицу площади, $\text{т}/\text{м}^2$;

$n_{цi}^c, n_{цi}^s$ – число циклов загрузки открытого склада в i -ый месяц навигационного периода при разгрузке соответственно судна и вагона.

Величина q_i^M определяется по выражению

$$q_i^M = \frac{N_{эп}^M}{S_M}, \quad (3)$$

где $N_{эп}^M$ – потери груза от пылеобразования за один цикл модельного грейфера, т;

S_M – площадь рассеивания груза за один цикл модельного грейфера, м^2 .

Величины $N_{эп}^M$ и S_M определяются экспериментально при модельных исследованиях.

Число циклов, совершаемых краном или перегружателем по варианту судно-склад $n_{ц1}$ или по варианту вагон-склад $n_{ц3}$ рекомендуется определять по выражениям:

$$n_{ц1}^c = \frac{n_c}{i}; n_{ц3}^s = \frac{n_s}{i}, \quad (4)$$

где i – количество месяцев в навигацию.

Величины $N_{эп}^M$ и S_M определяются при модельных исследованиях с учетом преобладающих скоростей и направлений ветровых потоков, где планируется расположить или располагается открытый склад, по месяцам навигационного и межнавигационного периода.

Математическое описание указанного процесса определяется в результате обработки экспериментальных данных с помощью метода наименьших квадратов [1]

$$N_{эп}^M = (b_0 + b_1 X_1) k_w, \quad (5)$$

где b_0, b_1 – коэффициенты уравнения регрессии.

Площадь поверхности штабеля натурного открытого склада зависит от количества груза, находящегося на складе. Для определения количества груза на складе по месяцам навигационного периода применяем существующую методику [2].

Зная количество груза, находящегося на накопительном складе по месяцам, определяются геометрические характеристики штабеля открытого склада с учетом технических характеристик перегрузочных машин (величина максимального вылета крана или отвалообразователя и т.д.) и характеристик причала (длина, ширина, допустимая нагрузка на 1 м^2 площади т.д.).

Площадь рассеивания груза за один цикл разгрузки грейфера определяется для определенной категории груза и определенной модели грейфера в зависимости от скорости ветрового потока [3].

Площадь рассеивания груза за один цикл разгрузки грейфера при различных скоростях ветрового потока показана на рисунке 1.

Математическое описание указанного процесса получают в результате обработки экспериментальных данных с помощью метода наименьших квадратов в следующем виде [1]

$$S = b_0 + b_1 X_1, \quad (6)$$

Суть методики определения потерь груза при разгрузке грейфера на открытый склад заключается в том, что зная площадь рассеивания груза за один цикл разгрузки грейфера и размеры склада, определяется площадь рассеивания потерянного груза за один цикл разгрузки грейфера в i -ом месяце навигационного периода, которая будет выходить за пределы склада, то есть частицы груза находящиеся в площади рассеивания и которые после наложения на склад будут выходить за размеры склада у основания, считаются потерянными (рисунок 2).

Путем наложения найденной площади рассеивания груза на открытый склад в центре пересечения диаметральной плоскости и зная преобладающие направление ветра по месяцам навигационного периода, можем определить общее количество потерянного груза от пылеобразования в процессе разгрузки грейфера.

Величина $N_{ск}$ для натуральных условий определяется как

$$N_{ск} = N_{ск}^M k_l^2, \quad (7)$$

Предлагаемый метод исследования на моделях потерь сыпучих грузов от пылеобразования позволяет провести лабораторные исследования на моделях данных процессов и по результатам этих исследований определить величину потерь груза для натурального перегрузочного процесса.

Разработанные на основе данного метода исследования методики определения потерь сыпучих грузов от пылеобразования при перегрузке грейфером дают возможность:

- спрогнозировать величину потерь сыпучих грузов как для вновь разрабатываемых, так и для существующих технологических процессов их перегрузки грейфером;
- определить материальные затраты, связанные с потерями сыпучих грузов;
- исследовать эффективность технических средств, снижающих потери сыпучих грузов от пылеобразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Е. Н. Львовский. -М.: Высшая школа, 1982. -223 с.
- 2 Отделкин Н.С. Теоретические основы оценки потерь и защиты окружающей среды от пылеобразования при перегрузке и хранении сыпучих грузов: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.19, 03.00.16 / Отделкин Николай Станиславович. -Н. Новгород, 2009. -355 с.
- 3 Адамов Е.И. Совершенствование методов определения и снижения потерь от пылеобразования при перегрузке сыпучих грузов грейферными

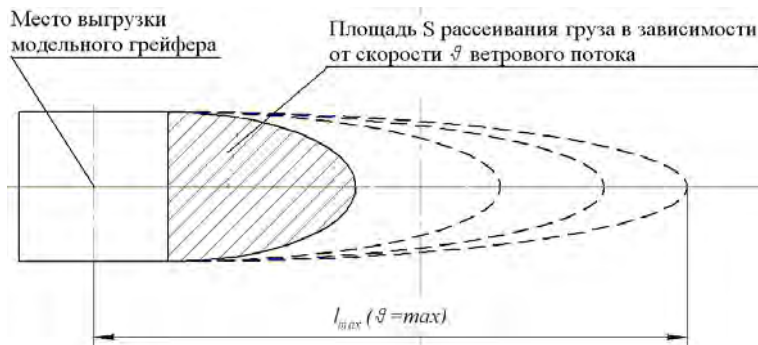


Рисунок 1 – Площадь рассеивания груза за один цикл разгрузки грейфера при различных скоростях ветрового потока

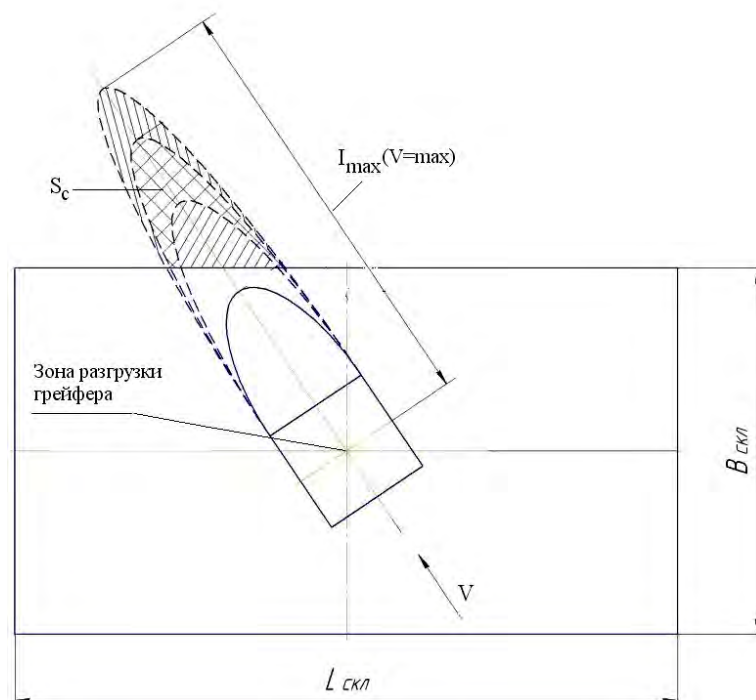


Рисунок 2 – Схема к определению потерь от пылеобразования при загрузке груза на открытый склад

REFERENCES

- 1 L'vovskii E.N. Statistical methods of constructing empirical relationships [Statisticheskie metody postroeniya empiricheskikh formul]. Moscow. Vysshaya shkola Publ. 1982. 223 p.
- 2 Otdelkin N.S. Theoretical bases of an estimation of losses and protection of an environment from dust formation during transfer and storage of bulk cargoes [Teoreticheskie osnovy otsenki poter' i zashchity okruzhayushchei sredy ot pyleobrazovaniya pri peregruzke i khraneni sypuchikh gruzov]. Nizhnii Novgorod. Volga St. Acad. of Water Transport Publ. 2009. 355 p.
- 3 Adamov E.I. Improvement of techniques for identification and reducing the bulk cargoes loss during its transfer by scoop clamshells [Sovershenstvovanie metodov opredeleniya i snizheniya poter' ot pyleobra-

кранами и перегружателями. Дис. ... канд. тех. наук: 05.22.19 / Адамов Евгений Иванович. - Нижний Новгород, 2010. - 122 с.

zovaniya pri peregruzke sypuchikh gruzov greifernymi kranami i peregruzhatel'nyami. Nizhniy Novgorod. Volga St. Acad. of Water Transport Publ. 2010. 122 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пылеобразование, сыпучий груз, грейферный кран, потеря сыпучих грузов
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Адамов Евгений Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
Сикарев Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
Отделкин Николай Станиславович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
Бахров Михаил Валерьевич, главный конструктор проектов АО КБ «Вымпел»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
603104, г. Нижний Новгород, ул. Нартова, 6, корп. 6, пом. №25, каб. 96, АО КБ «Вымпел»

РИСК В СНАБЖЕНИИ И ЕГО УЧЕТ В УПРАВЛЕНИИ ЗАПАСАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Н.В. Баранова, А.В. Бабаев

SUPPLY RISK AND ITS REGARD IN STOCK MANAGEMENT AT THE ENTERPRISE

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Natal'ya V. Baranova (Ph.D. of Economic Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

Akshin V. Babaev (Graduate student of SSUWT)

ABSTRACT: The modern economic activity of an enterprise must consider the risk factors that arise in the conditions of a market economy. Their influence on the supply system, which ensures the implementation of the production process, must be minimized with the help of a scientific approach.

Keywords: risk, supply, reserve stock

Современная хозяйственная деятельность предприятия должна учитывать рисковые факторы, возникающие в условиях рыночной экономики. Их влияние на систему снабжения, обеспечивающую осуществление производственного процесса, необходимо свести к минимуму с помощью научного подхода.

Риск постоянно присутствует в жизнедеятельности предприятий и организаций, что обусловлено влиянием многочисленных внешних, и не менее многочисленных внутренних факторов. Последние имеют более предсказуемый характер, следовательно, могут быть спрогнозированы с той или иной степенью вероятности. Это означает, что у фирмы есть возможность заранее учесть внутренние риски и разработать комплекс плановых мероприятий по их уменьшению или полному погашению.

В общем, под риском понимается опасность возникновения непредвиденных потерь ожидаемой прибыли, дохода или имущества, денежных средств в связи со случайным изменением условий экономической деятельности, неблагоприятными обстоятельствами.

Риск в материало и товарообеспечении предполагает потерю возможной прибыли как при наличии товарно-материальных ценностей, так и при их отсутствии.

Полностью заполненный склад может принести предприятию убытки в том случае, если содержащийся в нем запас относится к категории аномальных, по отношению к плановым нормам. Именно такими являются сверхнормативные, неликвидные и неиспользуемые запасы.

Неиспользуемые запасы это товарно-материальные ценности, пригодные для использования, но ненужные организации. Они могут возникать вследствие несвоевременных и некомплектных поставок, прекращения выпуска отдельных наименований продукции из-за отсутствия спроса, изменения конструкции выпускаемой продукции, замена используемых материалов на другие, применение более совершенных технологий и материалов.

Неликвидные (устаревшие) запасы образуются вследствие ухудшения качества товарно-материальных ценностей во время хранения, а также морального износа, из-за несовпадения логистических циклов в производственной сфере и в сфере обращения с жизненным циклом товара.

Сверхнормативный запас представляет собой товарно-материальные ценности на складах предприятия в количестве, превышающем норму. Они могут появляться вследствие перевыполнения производственной программы при выпуске продукции, сбыт которой обеспечен; либо иметь статус сверхплановых, возникающих при недостатках организации снаб-

жения, производства и сбыта.

Риск для предприятия при возникновении сверхнормативного, неликвидного или неиспользуемого запаса – это отвлечение оборотных средств из процесса производственно-хозяйственной деятельности и снижение эффективности их использования, увеличение расходов на складскую деятельность при содержании таких запасов, возникновение прямого убытка при физической их порче.

Оценить замороженные в запасах денежные средства можно с помощью подхода, предложенного Г.Л. Бродецким [1], основанном на учете депозитной ставки, которая характеризует вмененные потери из-за того, что анализируемая сумма не находилась на депозитном счете. Таким образом, в классическую модель управления запасами вводится учет временной стоимости денег.

При учете временной стоимости денег решение задачи оптимизации стратегии управления запасами будет зависеть от конкретной, принятой в рамках модели схемы выплат издержек хранения. Эти выплаты могут быть привязаны к разным вариантам таких схем:

- выплаты издержек хранения «пренумерандо»;
- выплаты издержек хранения «постнумерандо»;
- выплаты издержек хранения в середине периода времени между общими поставками.

Для всех таких модификаций моделей систем управления запасами в качестве критерия оптимизации стратегии управления принимается максимизация суммарной интенсивности доходов для имеющих место в системе управления запасами уходящих и приходящих денежных потоков, характеризующих анализируемую систему. Учет временной стоимости денег (издержек/доходов) реализуется по схеме простых процентов.

Обозначения модели:

- N – произвольное количество видов или номенклатуры товаров;
- D_i – объем годового потребления i -го товара;
- C_0 – общие накладные расходы на поставку одной партии товара;
- C_{ni} – стоимость единицы i -го товара;
- P_{ni} – прибыль от реализации единицы товара;
- C_{0ni} – издержки доставки единицы i -го товара, не включающие накладные расходы на поставку соответствующей партии;
- C_{hi} – годовые издержки хранения единицы i -го товара;
- $T_{об}$ – общий период поставки, год;
- q_i – размер партии i -го заказа в общей партии поставки;
- r – годовая ставка наращения, действующая на рынке.

Тогда величины рассматриваемых денежных потоков при выплате издержек хранения «пренумерандо» будут определяться:

- уходящие платежи, соотносимые с началом каждого периода хранения очередной поставки

$$C_i + \sum C_{0ni} q_i + \sum q_i + \sum C_{hi} q_i \frac{T_{об}}{2};$$

- приходящие платежи, соотносимые в среднем с серединой каждого периода времени между поставками

$$\sum (C_{ni} + P_{ni}) q_i.$$

В отличие от классического подхода задача оптимизации стратегии управления запасами рассматривается как требование максимизации интенсивности суммарного потока доходов по всей группе товаров с учетом временной стоимости денег, что приводит к выражению

$$F = \frac{\sum q_i (C_{ni} + P_{ni}) - \left(1 + r \frac{T_{об}}{2}\right) \left(C_0 + \sum C_{0ni} q_i + \sum C_{ni} q_i + \sum C_{hi} q_i \frac{T_{об}}{2}\right)}{T_{об}} \rightarrow \max,$$

в области $T_{об} > 0$, причем

$$T_{об} = \frac{q_i}{D_i}.$$

В стратегии для случая, когда контрактные условия предполагают возможность учета

издержек хранения «постнумерандо», то есть в конце периодов поставки, потоки уходящих платежей будут представлены в виде:

– уходящие платежи, соотносимые с началом периода поставки

$$C_0 + \sum C_{0\pi i} q_i + \sum C_{\pi i} q_i ;$$

– уходящие платежи, соотносимые с концом периода поставки

$$\sum C_{\pi i} q_i \frac{T_{об}}{2}.$$

Приходящие платежи остаются прежними, а задача максимизации интенсивности потока денежных доходов $F_{посм}$ принимает вид

$$F_{посм} = \frac{\left[\sum q_i (C_{\pi i} + P_{\pi i}) - \left(1 + r \frac{T_{об}}{2} \right) (C_0 + \sum C_{0\pi i} q_i + \sum C_{\pi i} q_i) \right] - \sum C_{\pi i} q_i \frac{T_{об}}{2} \left(1 - \frac{r}{1+r} \right) \frac{T_{об}}{2}}{T_{об}} \rightarrow \max.$$

В модификации классической модели для случая, когда контрактные условия учета издержек хранения предполагают осуществлять их в середине периода времени между поставками партии товара, могут использоваться схемы простых процентов для учета временной стоимости денег:

– уходящие платежи, соотносимые с началом каждого периода

$$C_0 + \sum C_{0\pi i} q_i + \sum C_{\pi i} q_i ;$$

– уходящие платежи, соотносимые с серединой каждого периода

$$\sum C_{\pi i} q_i \frac{T_{об}}{2}.$$

Приходящие платежи остаются прежними, а задача максимизации интенсивности потока доходов F_{mod} для системы управления запасами с учетом временной стоимости денег принимает вид

$$F_{mod} = \frac{\sum q_i \left(C_{\pi i} + P_{\pi i} - C_{\pi i} \frac{T_{об}}{2} \right) - \left(1 + r \frac{T_{об}}{2} \right) (C_0 + \sum q_i C_{0\pi i} + \sum q_i C_{\pi i})}{T_{об}} \rightarrow \max.$$

Таким образом, разработанные в рамках классической теории модели оптимальных стратегий управления запасами могут быть улучшены за счет учета временной стоимости денег. При этом суммарный показатель возможного повышения эффективности системы по всей имеющейся номенклатуре товаров может быть весьма значительным.

Риск отсутствия запаса необходимых в производственной или товарообменной деятельности товарно-материальных ценностей проявляется более явно. В этом случае предприятие понесет потери части прибыли вследствие: замедления или остановки производственного процесса, необходимости срочной замены отсутствующего ресурса, уменьшения объемов выпуска продукции и роста ее цены, возможной потери клиентов из-за невыполнения условий договора, выплаты штрафных санкций за несвоевременное исполнение взятых обязательств по производству продукции или предоставлению услуг.

Для снижения, а в идеале и ликвидации, такого риска организация должна предусмотреть создание страхового запаса.

Страховой запас – это запасы материальных ресурсов, предназначенные для бесперебойного снабжения производства и потребления при возникновении непредвиденных ситуаций, связанных с уменьшением поставок, по сравнению с предусмотренным графиком.

Размер страхового запаса зависит от частоты поставок, количества и отдаленности поставщиков, значения данного вида сырья для предприятия, возможности быстрого восстановления запаса. Как правило, его величина постоянна во времени и в обычных условиях является неприкосновенной.

Весьма важным вопросом является размер страхового запаса у предприятия, поскольку и его избыток, и его недостаток могут пагубно отразиться на осуществлении производственного процесса. Излишняя величина страхового запаса замораживает денежные средства, вложенные в этот запас, на неопределенный период, увеличивает издержки на хранение запаса, ухудшает показатели использования оборотных средств предприятием. Недостаточная величина страхового запаса несет в себе риск замедления или приостановки производственной деятельности из-за отсутствия необходимого сырья, либо приобретения такого

сырья у стороннего поставщика в срочном порядке.

Определение необходимой нормы страхового запаса рассматривалось многими отечественными экономистами в рамках разработки отраслевых Типовых методик нормирования запасов. Норма определяется либо на основе требуемого уровня надежности покрытия возможного дефицита, либо на учете отклонений в фактических поставках.

Инютина К.В. [3] предлагает формулу, которая учитывает отклонения продолжительности каждой поставки от их среднего значения за рассматриваемый период

$$H_{cmp} = \frac{\sqrt{\sum (t_n - T_{cp})^2}}{\sqrt{\sum Q_n}},$$

где T_{cp} – средний интервал между поставками;

t_n – интервал n -ой поставки;

Q_n – объем n -ой поставки;

n – порядковый номер поставки.

Способы, предлагаемые другими авторами, также построены на учете отклонения фактических величин от среднего уровня:

– Фасоляк Н.Д.

$$H_{cmp} = \sqrt{\frac{\sum (t_n - T_{cp})^2}{N}},$$

где N – количество поставок в год.

– Мельникова Е.А.

$$H_{cmp} = \frac{0,25}{R_{cp}} \max |Z_m - Z|,$$

где Z – отклонение значения суточного остатка, нормируемого от среднего уровня остатков перед поставками.

– Вожжов А.П.

$$H_{cmp} = \sqrt{p^2 (\sigma_T + \sigma_S) + (p^2 + p_1') (\sigma_Q^2 + \sigma_R)}$$

где p – коэффициент гарантийности, определяющий величину компенсации случайных отклонений;

p_1' – коэффициент гарантийности, определяющий величину случайных отклонений от среднего значения (в сторону уменьшения) и расходуемых значений (в сторону увеличения);

$\sigma_T, \sigma_S, \sigma_Q, \sigma_R$ – среднеквадратические отклонения интервалов поставок, интервалов от пуска, объемов поставок и объемов отпуска.

– Геронимус Б.Л.

$$H_{cmp} = \frac{\sigma^2 \lambda}{2R_{cp}} - Q_{cp} + \frac{R}{\lambda} \ln \left[\beta \left(1 - \frac{m \sigma^3 \lambda^3}{6R_{cp}^3} + \frac{E \sigma^4 \lambda^4}{24R_{cp}^4} \right) \right]$$

где Q_{cp} – средний объем поставки;

R_{cp} – среднесуточный расход нормируемой марки сырья в году;

σ – дисперсия вариаций объемов поставок;

λ – обратная величина среднего интервала поставки;

β – обратная величина оптимального коэффициента риска;

E – асимметрия;

m – эксцесс

Нормирование страхового запаса с учетом требуемого уровня надежности предлагает осуществлять Лейберт Т.Б. [2]

$$q_{cmp} = Z_p \sqrt{L \sigma_d^2 + d^2 \sigma_L^2},$$

где σ_d – среднеквадратическое отклонение интенсивности спроса;

σ_L – среднеквадратическое отклонение времени поставки;

- Z_p – коэффициент, связанный с требуемым уровнем надежности, значение которого может быть найдено по таблицам стандартного нормального распределения;
 d – интенсивность спроса;
 L – время поставки.

Предполагается, что интенсивность спроса и время поставки являются независимыми случайными величинами, распределенными по нормальному закону. При этом в условиях абсолютно надежных поставок и стационарного спроса величина страхового запаса равна нулю.

Фактически эти условия редко появляются в реальной экономике, но классическая модель управления запасами построена именно на таких ограничениях. Модель используется только для материалов, которые имеют достаточную и постоянную статистику потребления, спрос на которые стабилен, форс-мажорные условия по ним редко встречаются.

В конечном итоге, решение о создании и хранении страхового запаса принимает руководитель предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- 1 Бродецкий Г.Л. Управление запасами: учебник / Г.Л. Бродецкий. – Москва: Эксмо, 2008. – 352 с.
- 2 Лейберт, Т.Б. Управленческий анализ запасов и затрат: учеб. пособие / Т.Б. Лейберт, Э.А. Халикова. – Уфа: Изд-во Уфимского гос. нефтяного техн. унив., 2015. – 120 с.
- 3 Радионов, А.Р. Логистика: нормирование сырьевых запасов и оборотных средств предприятия: учеб. пособие / А.Р. Радионов, Р.А. Радионов. – М.: Проспект Велби, 2006. – 415 с.

- 1 Brodetskii G.L. Stock management: textbook [*Upravlenie zapasami*]. Moskva. Eksmo Publ. 2008. 352 p.
- 2 Leibert T.B., Khalikova E.A. Managerial analysis of stocks and costs [*Upravlencheskii analiz zapasov i zatrat*]. Ufa. Ufa St. Petroleum Technological Univ. Publ. 2015. 120 p.
- 3 Radionov A.R., Radionov R.A. Logistics: rationing of stocks in trade and current assets of the enterprise [*Logistika: normirovanie sbytovykh zapasov i oborotnykh sredstv predpriyatiya*]. Moscow. Prospekt Velbi Publ. 2006. 415 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: риск, снабжение, страховой запас

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Баранова Наталья Владимировна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Бабаев Акшин Вакиль оглы, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»
 ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения»

В.М. Бунеев, Ю.А. Пикалин

PROBLEMS OF BUILDING UP THE SYSTEM OF STRATEGIC MANAGEMENT OF THE TRANSPORT ENTERPRISE

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Ural State University of Railway Transport (USURT) 66, Kolmogorova St., Ekaterinburg, 620034, Russia

Viktor M. Buneev (Holder of an Advanced Doctorate in Economic Sciences, Prof. of SSUWT)

Yurii A. Pikalin (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of USURT)

ABSTRACT: The problems of developing a strategic management system of the transport enterprise are described on the example of the shipping company.

Keywords: enterprise, management, system

Изложены проблемы формирования системы стратегического управления транспортного предприятия на примере судоходной компании.

Потребность в стратегическом управлении обусловлена объективными причинами. Главная из них – изменение отношения потребителей и общества к предприятию как социальному институту. Используемые здесь формы долгосрочного и текущего управления способствуют повышению эффективности производства за счет внутренних ресурсов предприятия. Кроме того, применение в практике управления методов прогнозирования и моделирования позволяет достаточно точно установить тенденции развития отрасли и направления деятельности предприятия.

Отличие стратегического управления состоит в изменении убеждений, в соответствии с которыми эффективность деятельности предприятия достигается, прежде всего, за счёт ра-

циональной организации производства, снижения издержек в результате выявления внутри-производственных резервов и экономии ресурсов. Предприятие здесь – «закрытая» система. Окружение в такой системе либо вообще не меняется, либо в ней не происходит качественных изменений. План конкретных действий составляется как в настоящем, так и в будущем. Они базируются на том, что однозначно известно – конечное состояние и окружение фактически меняться не будут.

Исследование этих факторов, оценка последствий их влияния на результаты хозяйственной деятельности, разработке, принятию и реализации соответствующих управленческих решений является предметом стратегического управления на предприятии. Следовательно, проблема формирования такой системы актуальна и требует пристального внимания, как с научной, так и с практической точки зрения.

В числе ключевых задач, решаемых в системе судоходной компании:

- анализ нестабильности грузовых потоков, оценка уровня риска под влиянием этого фактора;
- исследование вероятностного характера изменения глубин судового хода, как в течение навигации, так и по годам.

Видение долгосрочной перспективы – важнейшая задача управления предприятием, решается путём анализа внутренних возможностей и ресурсов. В результате определяется количество продукции или услуг, которое предприятие может произвести, и величина издержек, понесённая им. Однако, эти достижения предприятия не могут дать ответ на вопрос о том, насколько созданный продукт будет принят рынком, который сам регулирует и определяет какое его количество и по какой цене будет куплено.

Из недостатков такого подхода к управлению следует отметить, что любой его объект постоянно изменяется во времени и пространстве, а также динамичность условий осуществления хозяйственной деятельности. Так, судоходная компания, непосредственно осуществляющая перевозки грузов и пассажиров подвержена влиянию макроэкономических, микроэкономических, природно-климатических, гидрологических и других факторов. Отмечается колебание спроса на транспортные услуги, нестабильность грузовых и пассажирских потоков, острая конкуренция на рынке транспортных услуг, наличие других рыночных факторов и риска [1].

В начале навигации – половодье, глубины судового хода выше гарантированных и позволяют полностью загружать суда, обеспечивая высокую эффективность их эксплуатации. Со временем гидрологический режим рек изменяется, поток воды уменьшается, глубины судового хода снижаются до уровня гарантированных и ниже. В результате загрузка грузовых судов уменьшается, последствие чего – потери провозной способности флота и увеличение эксплуатационных расходов на его содержание.

В дополнение отмечается динамичность транспортного процесса доставки грузов и перевозки пассажиров, выраженная в зависимости технологического процесса в каждый зафиксированный момент времени от предыдущего состояния дислокации флота. Рассматривая транспортный процесс в качестве объекта управления с позиций системного подхода, указывается на стохастический характер взаимодействия между элементами как внутри системы, так и во взаимодействии с окружающей средой.

Сущность стратегического управления можно представить процессом выявления связей предприятия с его окружением, реализации выбранных целей и попытки достичь желаемого состояния взаимоотношений с окружением посредством перераспределения ресурсов [3].

Другое понимание стратегического управления – набор решений и действий по формированию и реализации стратегий, разработанных для достижения целей предприятия [4].

Организация управленческой деятельности на предприятии ввиду её особой значимости требует детального рассмотрения. Предлагается сформировать систему стратегического управления предприятия. В качестве организационно-методической основы при этом приняты принципы системного подхода, научной обоснованности, комплексности и поэтапности исследования [1, 2], учитываются особенности транспорта, разнообразие форм деятельности по перемещению грузов и пассажиров в пространстве. Управление здесь строится на основе общих закономерностей, не имеет принципиальных отличий от других отраслей и форм предпринимательства. Однако, при этом необходимо учитывать особый характер производства продукции, её потребления и услуг. Процесс производства продукции совмещен с

потреблением, продукцию невозможно накопить традиционными способами. Все эти обстоятельства значительно усложняют весь процесс продвижения на рынке транспортной продукции.

В общем виде система организации управления транспортного предприятия представляется как сложный и динамичный, непостоянный во времени и пространстве объект исследования, обладающий системными свойствами. Важнейшими элементами системы организации управления на транспортном предприятии являются: организационная структура управления; распределение функций и обязанностей между исполнителями; совокупность информационных технологий, методов, моделей и других видов инструментария решения и реализации управленческих задач (рисунок). Центральным звеном системы организации управления транспортного предприятия является стратегическое управление.



Рисунок – Схема формирования системы организации управления предприятия

Теоретической основой и методологией инструментария разработки и принятия решений выбора стратегий хозяйственной деятельности судоходной компании являются сочетание элементов теории менеджмента и маркетинга. Объединение элементов приведенной схемы с 5-ой по 8-ую представляет собой интегрированную систему менеджмента и маркетинга судоходной компании, предназначение которой – выполнение функций стратегического управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бунеев, В.М. Менеджмент на внутреннем водном транспорте: учебник / В.М. Бунеев, А.В. Зачёсов, Ю.В. Турищев. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2013. -430 с.
- 2 Бунеев, В.М. Стратегия и концепция развития судоходной компании / В.М. Бунеев // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2015. -№3. -С. 36-40.
- 3 Цукарев, С.С. Общий менеджмент: основа электронного учебника: учеб. пособие / С.С. Цукарев, С.П. Кретов, О.С. Краснов. -Новосибирск: Наука, 2006. -444 с.

REFERENCES

- 1 Buneev V.M., Zachesov A.V., Turishchev Yu.V. Inland water transport management [Menedzhment na vnutrennem vodnom transporte]. Novosibirsk. Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. 2013. 430 p.
- 2 Buneev, V.M. Shipping company strategy and development concept [Strategiya i kontseptsiya razvitiya sudokhodnoi kompanii]. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2015. No. 3. pp. 36-40.
- 3 Tsukarev S.S., Kretov S.P., Krasnov O.S. Fundamentals of Management: concept of eTextbook [Obshchii menedzhment: osnova

4 Герами, В.Д. Управление транспортными системами: учебник и практикум для академического бакалавриата / В.Д. Герами, А.В. Колик. -М.: Изд-во Юрайт, 2015. - 438 с.

elektronnoy uchebnika]. Novosibirsk. Nauka Publ. 2006. 444 p.

4 Gerami V.D., Kolik A.V. Transportation systems management [Upravlenie transportnymi sistemami]. Moscow. Yurait Publ. 2015. 438 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

предприятие, управление, система

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Бунеев Виктор Михайлович, докт. экон. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Пикалин Юрий Анатольевич, докт. техн. наук, профессор УрГУПС

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

620034, г.Екатеринбург, ул.Колмогорова, 66, УрГУПС

РЕГИОНАЛЬНАЯ ЛОГИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДОСТАВКИ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сибирский центр логистики

В.А. Кноль

REGIONAL NONMETALLIC BUILDING MATERIALS LOGISTICS

Siberian Centre of Logistics (SCL) 29, Naberezhnaya reki Tomi St., Tomsk, 634009, Russia

Vladimir A. Knol' (Ph.D. of Economic Sciences, CEO founder of SCL)

ABSTRACT: The article discusses the role and importance of regional logistics centers.

Keywords: *logistics, river basin, holding company*

О роли и значении региональных (бассейновых) центров логистики.

Создание региональных центров логистики, на базе которых формируется бассейновая транспортно-логистическая инфраструктура, имеет большое стратегическое значение.

Речные порты занимают одно из ведущих мест в транспортном комплексе страны. От их стабильной работы во многом зависит стабильность речного транспорта. Существующая материальная база речных портов позволяет объединить работу всех видов транспорта, осуществлять перевалочные и складские операции, выбирать наиболее выгодные варианты доставки, контролировать движение грузов от поставщиков до потребителей, создавать мощную информационную систему для клиентуры, проводить необходимую модернизацию и многое другое.

Имея такую базу, региональные (бассейновые) центры логистики оперативно решают большой спектр вопросов. Через центры создаётся система взаимодействия с финансовыми структурами, что позволяет оперативно решать материально-техническое обеспечение, активно вести зимнее накопление грузов. Кстати, зимнее накопление является одним из стратегически важных и значимых условий стабильной работы речного транспорта, учитывая её сезонный характер.

Логистический центр тесно взаимодействует с наукой для предоставления клиентуре обширной информации о целесообразности использования в производстве различных материалов. Это позволяет навести должный порядок в поставках, жестко отслеживать сертифицированную продукцию согласно паспортным данным [1].

Еще один немаловажный фактор – это качество поставляемой продукции и сроки оказания транспортных услуг.

В Обь-Иртышском бассейне много судоходных компаний и судовладельцев, портов и причалов, разобщенная деятельность которых приводит к недобросовестной конкуренции, снижает эффективность использования флота и портового хозяйства.

Центр логистики становится той организационной средой, которая позволяет упорядочить тарифную политику, навести порядок в транспортном конвейере.

Взаимодействие центра со смежными видами транспорта позволяет оперативно решать поставленные клиентурой задачи, в том числе, с использованием собственного подвижного состава и автомобильного транспорта.

В организационном плане региональные (бассейновые) центры логистики показывают высокий уровень эффективности по обеспечению материально-техническими ресурсами территории и целых отраслей.

Эффективность работы бассейновых логистических центров видна на примере «Сибирского центра логистики» (СЦЛ), который работает уже более 20 лет, имеет хорошие показа-

тели, накоплен значительный опыт работы.

Благодаря созданию такой системы томские речники смогли занять лидирующее положение на рынке доставки нерудных строительных материалов (НСМ) в Обь-Иртышском бассейне, оперативно выполнять все договорные обязательства.

За это время центр преобразовался в мощный холдинг, в который входит 16 предприятий. В первую очередь это речные предприятия Томска, Нижневартовска, на балансе которых более 400 единиц флота, более 60 единиц крановой механизации, судостроительный и судоремонтный заводы, карьеры по добыче песка и песчано-гравийной смеси, три горных карьера по производству щебеночной продукции, собственный подвижной состав и автоколонна.

Объем производства продукции предприятиями холдинга «Сибирский центр логистики» вырос почти в 3 раза и составил на конец 2017 года 3,7 млн. т. Объем поставки НСМ в регионы увеличился за этот период более чем в 2 раза. Производительность труда по сравнению с 2010 годом увеличилась на 34%.

Дальнейшее развитие речного транспорта в бассейнах видится в создании таких холдингов, которые позволяют иметь единую информационно-диспетчерскую систему, координировать терминально-транспортную сеть.

Есть вопросы, на которых хотелось бы заострить внимание.

В проекте «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» в разделе «Совершенствование рынка транспортных услуг, обеспечение их доступности, объема и качества» говорится, прежде всего, о формировании новых транспортных услуг, отвечающих требованиям качества. К сожалению, сегодня основная масса предприятий не использует этот механизм, качество не является предметом конкуренции при проведении конкурсов. Сертификат соответствия системы менеджмента качества ГОСТу ISO-9001 даже не упоминается в условиях конкурса. Основным показателем остается цена, что в свою очередь порождает заниженную тарифную политику за счет участников рынка, которые используют демпинговые тарифы.

В свою очередь транспортные предприятия, которые обременены большой подсобной деятельностью, не могут выстраивать долгосрочную политику перевооружения современным подвижным составом и техническими средствами из-за недостатка собственных оборотных средств.

Судоходные компании находятся в достаточно сложной ситуации по отношению к нефтяным компаниям. Не секрет, какие сложные условия выставляют эти организации. По сути, мы сегодня за счет собственных и заемных средств производим зимнее накопление, ведем подготовку к навигации, осуществляем доставку грузов в пункт назначения, а нефтяники производят расчет через 3-6 месяцев после выполнения работ. В таких условиях речной транспорт не может стабильно развиваться.

Можно считать, что период создания Сибирского Центра логистики завершен, сформированы значительные материальные активы в виде заводов, предприятий, месторождений; все предприятия укомплектованы кадрами; у центра есть внятная рыночная политика. Чтобы развиваться дальше, необходимо следующее.

– Расширить рынок, так как сегодняшний накопленный нами потенциал не соизмерим с рынком, который есть в Сибири; необходимо заниматься изучением рынка новых продуктов.

– Совершенствовать систему управления, так как при создании СЦЛ произошло объединение организаций с разной историей, традициями, с разной управленческой культурой; теперь нужно учиться работать по единым стандартам, и с этой важной задачей предстоит справиться всему персоналу холдинга.

– Повышать эффективность использования кадров, более эффективно использовать материальные ресурсы.

На базе Томского речного порта создана вертикально-интегрированная холдинговая структура, где роль управленческой компании выполняет СЦЛ, при этом каждая бизнес-единица остается самостоятельной, самодостаточной, хозрасчетной. В холдинге централизовано планирование и управление всеми участками технологической цепочки, централизованно решается, как финансировать работу, как распределять доход, как сделать, чтобы все работало синхронно, оптимально. Холдинг охватывает широкий спектр услуг, а каждая услуга – это важное звено в цепочке, при этом прочность цепочки определяется прочностью ка-

ждого звена. Работая в этом направлении, холдинг занимает ведущие позиции на сибирском рынке [2].

Отдавая должное сделанному Сибирским центром логистики, следует указать на ряд проблем:

- нестабильность рынка;
- короткие и дорогие деньги;
- период планирования не более 1 года;
- кадровая проблема.

Создание Сибирского центра логистики – это сложный кропотливый процесс, он требует постоянного преодоления препятствий: природных, экономических, субъективных. Необходимо оперативно реагировать на происходящие вокруг изменения и всегда думать о будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кноль, В.А. Создание региональной логистической системы доставки нерудных строительных материалов / В.А. Кноль, С.Н. Ведерников, П.А. Тарасенко // Теория и практика функционирования и развития транспортной системы Сибири: сб. науч. тр. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2013. -С. 49-50.

2 Кноль, В.А. На пути к стабильности / В.А. Кноль // -Речной транспорт (XXI век). -2007. -№3. -С. 42-44.

REFERENCES

1 Knol' V.A., Vedernikov S.N., Tarasenko P.A. Creating regional nonmetallic building materials logistics [Sozdanie regional'noi logisticheskoi sistemy dostavki nerudnykh stroit el'nykh materialov]. Theory and practice of operation and development of Siberian transport system [Teoriya i praktika funktsionirovaniya i razvitiya transportnoi sistemy Sibiri]. Novosibirsk. Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. 2013. pp. 49-50.

2 Knol' V.A. On the road to stability [Na puti k stabil'nosti]. *Rechnoi transport (XXI vek)*. 2007. No. 3. pp. 42-44.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: логистика, бассейн, холдинг

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Кноль Владимир Антонович, канд. экон. наук, генеральный директор Сибирский центр логистики

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 634009, г.Томск, ул.Набережная реки Томи, 29, Сибирский центр логистики

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СВЯЗНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАПЛАВНЫХ МОСТОВ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

С.Н. Масленников

PROVIDING THE TRANSPORT NETWORK CONNECTIVITY VIA USE OF THE FLOATING BRIDGES

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Sergei N. Maslennikov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

ABSTRACT: The possibilities of incorporating the floating bridges into the transport network are shown in this paper. Authors underline the outstanding ability of the floating bridges to adapt to changing economic and geographical conditions.

Keywords: transport network, floating bridges

Показаны возможности включения наплавных мостов в транспортную сеть. Показана исключительная способность наплавных мостов адаптироваться к изменяющимся экономическим и географическим условиям.

Транспортная система имеет две основных функции: обеспечение транспортной доступности и снижение транспортных издержек. Выполнение этих функций возможно на основе единой транспортной сети, включающей различные виды транспорта, автодороги, железнодорожные и воздушные пути, реки и моря. Однако географические условия на Земле таковы, что отдельный вид транспорта с присущими ему физическими принципами движения почти никогда не может быть единственным, который способен достичь конечной цели на перемещении на значимое расстояние.

Самый распространенный на протяжении многих веков гужевой транспорт неразрывно существовал одновременно с водным транспортом. На кораблях перемещались и кони вместе с людьми.

Однако инженерные сооружения, соединяющие противоположные берега суши известны с глубокой древности.

Геродот (5 век до н.э.) сообщает, что при походе в Скифию персидский царь Дарий (522-486 гг. до н.э.) для переправы своей армии через Босфор и Дунай приказал ставить борт к

борту корабли, поверх которых укладывался деревянный настил. Его преемник Ксеркс (486-465 гг. до н.э.), который предпринял поход на Грецию, при сооружении подобной переправы через Босфор приказал для удержания кораблей от сноса течением свить канат, и протянуть его через пролив.

Капитальные мосты появились значительно позднее. Наличие многих мостов через Москву-реку в черте города подтверждает Амброджо Контарини, посол Венеции: «Город Москва стоит на небольшом холме; замок и весь остальной город – деревянные. Река, называемая Москва, проходит через середину города и имеет много мостов. Город окружен лесами». Посол был в России проездом и любовался московскими мостами с августа 1476 г. по январь 1477 г.

«По данным Росстата на конец 2014 г., в России было 42 тыс. мостов и путепроводов – всего на 200 больше, чем в 2000 г. Протяженность сооружений за это время выросла с 1,6 млн. до 2,1 млн. погонных метров Протяженность просто дорог за то же время выросла на 70% (в основном, правда, из-за включения в статистику местных автодорог, которые раньше туда не попадали).

42 тысячи мостов (с железнодорожными 72,5 тысячи) – много это или мало для страны, по территории которой протекает 2,8 млн. рек? Через США протекает 250 тыс. рек, а мостов на них 600 тысяч вместе с железнодорожными. Официальной статистики нехватки мостов в России не существует, но косвенно об этом можно судить по двум показателям. Во-первых, по числу постоянно действующих переправ – летних и зимних. 257 летних и 3,5 тысячи зимних переправ – очень высокий показатель даже для столь большой страны; для сравнения, в США, по данным 2010 г. – 485 паромных терминала).

Во-вторых, о нехватке мостов можно судить по показателю транспортного перепробега – разнице расстояния между точками А и Б по земле и по воздуху. Например, в Москве перепробег составляет 70-80% против 20-25% в западных мегаполисах, говорит замглавы экспертного центра Probok.net Андрей Мухортиков. В России, добавляет Блинкин, нет города с показателем лучше чем 50%» [1].

Из общего количества ледовых переправ около 50% работают в Сибири и Дальнем Востоке, на северо-западе России – 28% и на Урале – 18%. Эти сооружения действуют каждую зиму. Очевидно, что в летнее время транспорт перемещается окружным путем либо на паромных переправах или на плавных мостах.

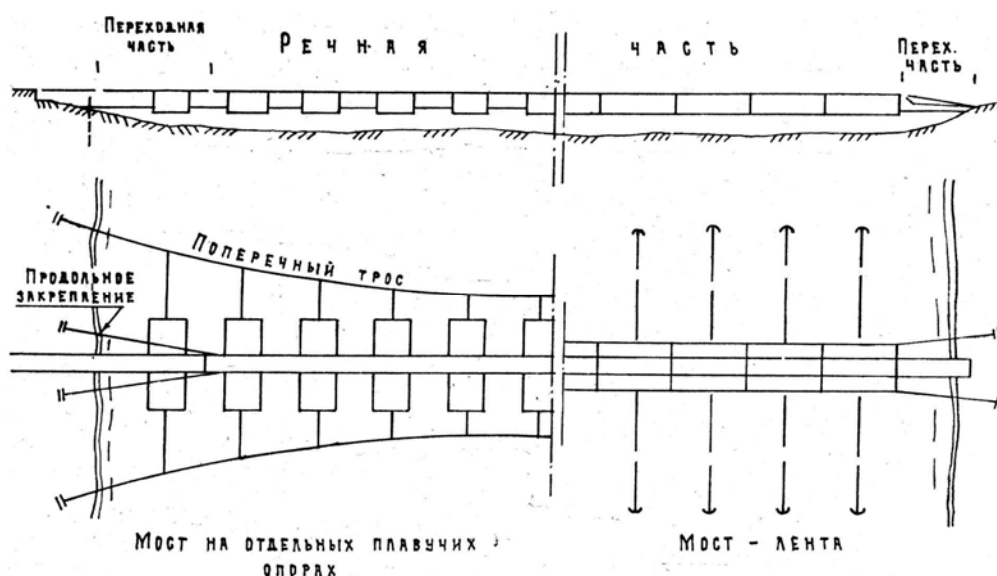


Рисунок 1 – Типы наплавных мостов в русле реки

Действительно паромные переправы и наплавные мосты широко используются на реках. В качестве парома могут использоваться плавучие средства в виде специализированных самоходных судов или барж грузоподъемностью до несколько тысяч тонн. Передвижение паромов от берега к берегу может быть обеспечено буксировкой или толканием теплоходами или лебедкой на берегу (пароме).

Наплавной мост обычно состоит (рисунок 1) из речной, береговых и переходных частей, имеет поперечные и продольные горизонтальные закрепления [2].

Русловая часть – это сам наплавной мост, перекрывающий глубоководную часть водной преграды. Пролетное строение речной части установлено на плавучие опоры (понтонеры или

баржи).

Береговые части моста представляют собой эстакады на подъемных опорах. Переходные части моста представляют собой качающиеся пролетные строения (аппарель), обеспечивающие плавный переход транспорта с моста на берег.

Поперечное закрепление моста, обычно якорное, удерживает мост от сноса его силой течения воды или поперечного ветра. Продольное закрепление тросами концов речной части за берега исключает возможность ее смещения к одному из берегов при продольном ветре или торможении тяжелых машин на мосту.

Система наплавного моста определяется конструкцией его речной части. Существует три основных системы речной части: разрезная, шарнирная и неразрезная (рисунок 2) [2].

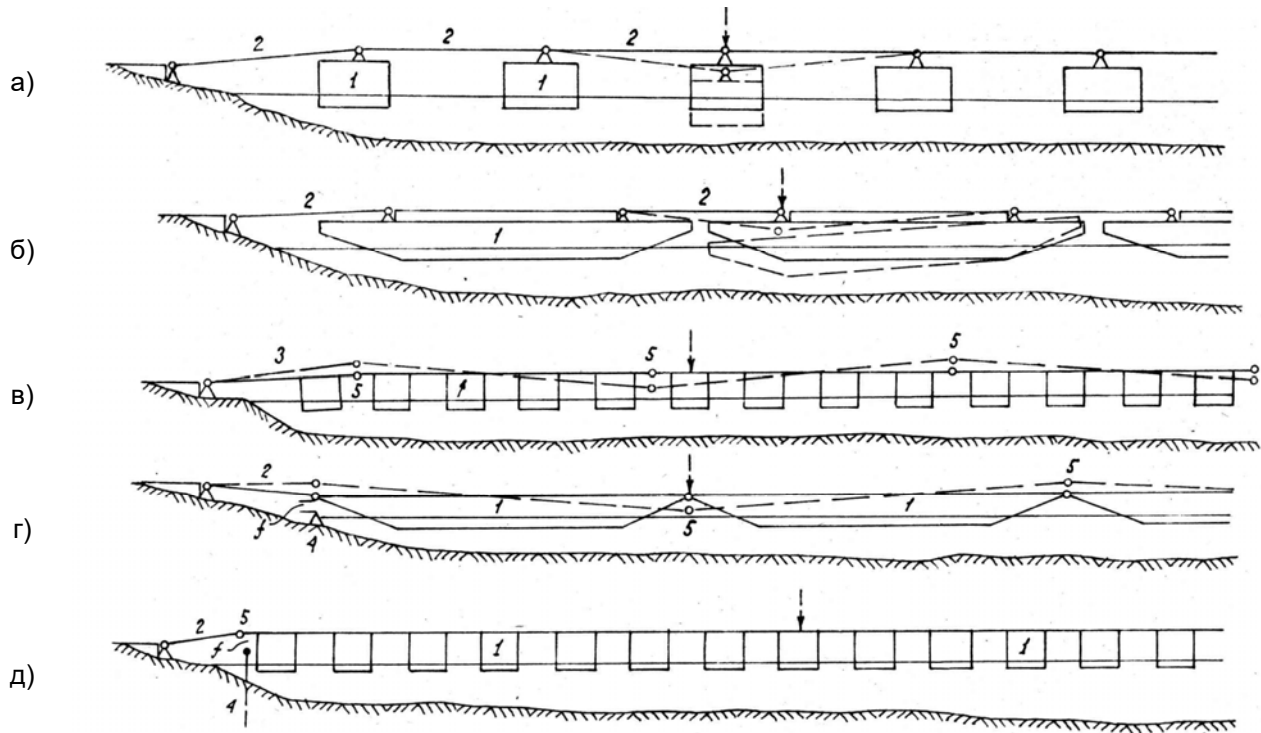


Рисунок 2 – Типы систем речной части наплавного моста

Основное их различие – в способах соединения паромов или отдельных пролетных строений по длине моста.

В разрезной системе речная часть состоит из отдельных плавучих опор или отдельных паромов, соединенных свободно опирающимися или шарнирно присоединенными переходными пролетными строениями (рисунок 2а и 2б).

Плавучие опоры в разрезной системе работают раздельно. Каждая опора воспринимает почти весь вес проходящей по мосту тяжелой машины. Для этого понтоны опоры должны иметь большие размеры, что затрудняет их перевозку. Разрезная система применяется лишь в мостах-лентах из барж большой грузоподъемности.

Шарнирная система представляет собой составные части моста, соединенные шарнирами в уровне проезжей части (рисунок 2в и 2г).

Вес одиночной транспортной единицы воспринимается несколькими понтонами, объем которых поэтому меньше, чем в разрезной системе. Понтоны легче перевозить.

Шарнирная система подходит для мостов-лент из барж небольшой грузоподъемности.

Мост неразрезной системы (рисунок 2д) имеет по всей длине речной части неразрезное пролетное строение. Все прогоны всех паромов по длине моста соединяются жесткими стыками. Для пропуска маломерных судов может быть выполнено отдельное пролетное сооружение.

Наплавной автодорожный понтонный мост, при необходимости, может быть оборудован одним или двумя разводными мостовыми участками для пропуска судов. Простота и надежность конструкции стыковых устройств разводных участков обеспечивают разводку моста или ввод разводных участков в линию моста за относительно короткое время.

Самые длинные наплавные мосты в России в Томской области (720 м), Ярославле (800 м), Нижнем Новгороде (380 м), длительное время до постройки капитального моста работал мост в Хабаровске (750 м). Десятки меньших наплавных мостов продолжают функционировать и подвергаются модернизации. Существуют проекты и строятся новые наплавные мосты.

Самый большой в мире наплавной мост (2350 м), находится на озере Вашингтон. Значительная глубина, илистое дно обусловили выбор такой конструкции.

Отработанная система наведения понтонных мостов у военных инженеров широко используется в гражданском строительстве. Понтонные системы с автомашинами и катерами, и отдельные понтоны свободно продаются и покупаются для использования на небольших реках.

На широкое использование системы наплавных мостов в Сибири повлияло избыток несамоходного флота, неиспользуемого в перевозках.

Простота конструкции, небольшая по сравнению со стационарными мостами стоимость изготовления позволяют оборудовать мостовую переправу в местах, где отсутствуют стационарные мосты. Цельнометаллический настил проезжей части моста снабжен элементами противоскольжения и имеет хорошее сцепление с ходовыми частями проходящих по мосту машин.

По сравнению с другими видами мостов и переправ наплавные мосты обладают целым рядом преимуществ. Основное преимущество наплавных мостов перед другими способами и средствами краткосрочного восстановления мостовых переходов – высокий темп наводки по сравнению с мостами на жестких опорах.

Конструкция наплавного моста и скорость возведения практически не зависит от глубины воды или характера грунта дна реки, тогда как эти факторы, определяющие для сложности конструкции мостов на жестких опорах. Это значит, что сборка и наводка моста может быть выполнена малоквалифицированной рабочей силой, причём за короткий срок.

Малая стоимость строительства, благодаря простоте и скорости сооружения, высокой мобильности, возможности повторного использования понтонов.

Целесообразность и возможность применения наплавного моста следует определять с учётом присущих им недостатков, к основным из которых относятся следующие:

- необходимость наблюдения за состоянием понтонов, креплений и соединений моста и их возможного ремонта. При значительном колебании уровня воды необходимо изменять высоту подъёмных опор в береговых частях;
- трудность использования при скорости течения воды свыше 3 м/с. Мосты-ленты из барж наводятся при скорости течения до 1,8 м/с;
- значительные деформации моста под нагрузкой снижают скорости движения техники в 1,5-2 раза (до 10-30 км/ч для автомобилей) по сравнению с мостами на жестких опорах;
- как и другие краткосрочные мосты и переправы, наплавные мосты обычно сносятся льдом. Однако при слабом ледоходе используются даже понтонные мосты, тонкая обшивка которых защищается навесными щитами по бортам и носовому обводу;
- затруднения для судоходства.

Проживая в крупнейшем Сибирском городе Новосибирске нельзя встать в стороне от транспортных проблем. Проблемы транспортной связности правого и левого берегов Новосибирска возникли с рождением города, и сопровождают его по сей день.

Как и во многих больших городах с взрывным приростом населения, инфраструктура Новосибирска не успевает за его ростом. Это касается и логистической инфраструктуры. Очень уязвимым местом является связь между правым и левым берегом. Сейчас она обеспечивается тремя мостами, Октябрьским, Димитровским, Бугринским и ещё шлюзовым переходом в Советском районе и мостом на Северном обходе.

Общественность до сих пор обсуждает незагруженность Бугринского моста. Этапы возведения четвертого моста и особенно подъездов к нему подвергаются критике в печати, общественного палате и областном совете Новосибирской области.

Проблема пробок и проблема строительства и инвестиционного развития возникают в городе по очереди. Сначала развивали строительство, а потом получали транспортные издержки в виде пробок в городах. Строили новый мост, расширяли транспортную связность, ускоряли промышленное и гражданское строительство и получали возросший транспортный

поток.

Но наряду с мостами история Новосибирска содержит сведения о паромной переправе и наплавном мосте в границах города. В 1930 гг. была паромная переправа. Она была там же где сейчас Октябрьский мост, на левом берегу пристань была где-то по центру нынешнего пляжа, на правом в месте плавучего ресторана на набережной. Дальше возы поднимались по Сузунскому ввозу или уходили на Трактовую-Будагова. Также связь осуществлялась через железнодорожный мост, люди в теплушках ездили на работу как сейчас на электричках. Кто не успел, тот искал ночлег на берегу.

Когда стал активно осваиваться левый берег, началась война, паром никак не мог удовлетворить потребностей (в первую очередь 179-го комбината (Сибсельмаш), и в августе 1941 г. принято решение построить понтонный мост, который через месяц уже сдали. Он находился в районе нынешнего Димитровского моста. До сих пор к нему ведет ул.Понтонная. Более сотни деревянных понтонов образовали почти километровую переправу от Чернышевской пристани до Лесоперевалочного комбината. Ночью центральные части раздвигали, чтобы пропустить плывущие по реке суда. Тогда на подъездах к переправе скапливались сотни грузовиков. Сюда же приходили желающие перебраться на противоположный берег. Понтонная переправа просуществовала больше десяти лет. Ее демонтировали в 1955 г., после завершения строительства Октябрьского моста.

Возможно ли сооружение такого моста в Новосибирске в настоящее время, учитывая присущие им недостатки. Насколько они являются существенным препятствием для сооружения наплавного моста в условиях Новосибирска. Среди них:

- течение – в границах Новосибирска течение Оби в межень около 1 м/с – весьма невысокое;
- ледовые явления – незначительная толщина льда не может повлиять на прочность сооружения. Есть опыт эксплуатации наплавного моста из барж в зимнее время;
- пропуск судов – не составляет технической проблемы пропуск судов путём временного вывода отдельного понтона (баржи).

Ориентировочная стоимость строительства нового наплавного моста составит около 500 млн. руб. Ежегодная стоимость содержания моста составит не более нескольких десятков миллионов рублей при условии круглогодичной эксплуатации и зависит от частоты пропуска судов. Сравнивая стоимость строительно-монтажных работ по четвертому Новосибирскому мосту в 32,35 млрд. руб., можно говорить, что инженерное изучение и инвестиционное обеспечение строительства наплавных мостов является актуальным, необходимым и требует дальнейшей проектной проработки.

Сегодня каждый регион разрабатывает свои технические решения по сооружению наплавных мостов. Стандартизация и унификация в конструировании и типовые решения в сооружении наплавных мостов, создание промышленной базы для их строительства позволят применять современные инновационные решения в масштабах крупных экономических регионов.

Возможность приспособления наплавных мостов к изменяющимся условиям существующей дорожной сети отвечает принципам формирования транспортных систем. Со временем узкие места в транспортной сети могут изменяться с течением времени, и она должна иметь возможность легко адаптироваться к новым условиям. Техническая возможность быстрого сооружения и разборки, возможности изменения ширины и длины может стать частью стратегии развития транспортной инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Почему в России мало мостов. -Режим доступа: <https://www.rbc.ru/newspaper/2016/05/25/573de5139a79478774746561>. -15.02.2018.
- 2 Зайцев, С.В. Спецоборудование амфибийных транспортных средств специального назначения. Наплавные мосты и паромы: учеб. пособие / С.В. Зайцев, М.Ю. Тимофеев. -М.: Изд-во Моск. автомоб.-дорож. инст., 2015. -100 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

транспортная сеть, наплавные мосты
Масленников Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

REFERENCES

- 1 Why Russia experience a shortage of bridges [*Pochemu v Rossii malo mostov*]. -URL: <https://www.rbc.ru/newspaper/2016/05/25/573de5139a79478774746561>. -15 Feb. 2018.
- 2 Zaitsev S.V., Timofeev M.Yu. Special equipment of amphibious vehicles for special purposes. Floating bridges and ferries [*Spetsoborudovanie amfibiinykh transportnykh sredstv spetsial'nogo naznacheniya. Naplavnye mosty i paromy*]. Moscow. Moscow Automobile and Road Construction Inst. Publ. 2015. 100 p.

ПРОБЛЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ РЕК СИБИРИ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ ЗАПОЛЯРЬЯ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Д.Ю. Сахнов

PROBLEMS OF SIBERIA RIVERS INCLUSION IN TRANSPORTATION AND LOGISTIC SYSTEMS OF POLAR REGIONS
Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia
Dmitrii Yu. Sakhnov (Senior Lecturer of SSUWT)

ABSTRACT: The article considers modern problems of transport development of mineral deposits located near the Arctic coast of Siberia and the possibility of effective incorporation of rivers into the Northern Sea Route and water transport system.

Keywords: Arctic, Siberia, water transport, raw materials potential

Рассматриваются современные проблемы транспортного освоения месторождений полезных ископаемых, расположенных вблизи Арктического побережья Сибири и возможности эффективного вовлечения рек Сибири в транспортно-технологическую систему Северного морского пути и водного транспорта.

Районы Крайнего Севера в Российской Федерации и приравненные к местностям занимают почти 2/3 территории страны и играют ведущую роль в национальной экономике, поскольку на этой территории сосредоточено более 65% ресурсного потенциала России.

Экономический рост северных территорий Сибири сдерживается отсутствием транспортной доступности для хозяйственного освоения новых территорий и возможности обеспечения необходимой подвижности населения и мобильности трудовых ресурсов, формирующих развитый региональный рынок.

Решение этих проблем может быть успешным при планомерном и неуклонном развитии производительных сил на этих территориях. В первую очередь следует обратить внимание на территории пионерного освоения, располагающих значительными запасами природных ресурсов, за счет чего возможно существенно повысить национальное богатство России.

На современном этапе серьезные усилия прикладываются к развитию топливной промышленности и, хотя интенсивное освоение северной территории Сибири началось в 1950-1970 гг., в настоящее время ряд месторождений еще находится в эксплуатации.

Экономическая ситуация в России задержала рост темпов освоения новых месторождений. К освоению этих территорий вернулись с учетом реально складывающихся экономической, политической и социальной ситуации.

Наша страна занимает первое место в мире по добычи природного газа (~600 млрд. м³ в год). Из них 90% всего газа России добывается в Западной Сибири. Отечественная энергетика, экспортные обязательства России требуют дальнейшего наращивания добычи газа. В ближайшей перспективе весь прирост добычи газового топлива будет осуществляться с территории Сибирского Заполярья и шельфа Карского моря.

Для успешного освоения территории сюда необходимо завозить значительное количество различных грузов из разных районов страны. Однако транспортная обеспеченность территории крайне низкая. Основным видом транспорта является водный: речной – сезонный, морской – не может подходить близко к месторождениям из-за малых глубин.

Если западная часть Сибирской Арктики будет специализироваться на нефтегазодобыче, нефтегазоперерабатывающей, гелиевой промышленности и добыче алмазов. Восточная часть включает в себя районы, где расположены месторождение золота, серебро-полиметаллическое, медно-вольфрамовое месторождения. На территории Южной Якутии, активно разрабатываются месторождения золота и угля.

С точки зрения транспортной обеспеченности наибольшее число проблем в Арктической зоне. Изложенный в «Стратегия социально-экономического развития Республики Саха (Якутия) на период до 2030 г., с определением целевого видения до 2050 г.» (Постановление Правительства Республики Саха (Якутия) №455 от 26.12.2016 г.) [7] «бассейновый» подход представляется действительно единственным, способным обеспечить транспортные связи. Такой подход к формированию территорий комплексного развития Северо-Якутской опорной зоны по бассейнам судоходных рек, обусловлен безальтернативностью внутренне-

го водного транспорта, и связью всех арктических и северных территорий Республики Саха (Якутия) через внутренние водные пути с Северным морским путем.

На самом деле сложнейшие физико-географические проблемы Северо-Якутской опорной зоны определяют необходимость использования наилучших доступных технологий и последних достижений науки и техники. С большой долей вероятности в ближайшие десятилетия основной объем перевозок будет обеспечиваться традиционными водоизмещающими судами. Ежегодно для нужд Якутии водным транспортом завозится 3 млн. т грузов, из них около 400 тыс. т доставляется в арктические районы судами класса «река-море». Через Северный морской путь завозится до 100 тыс. т нефтепродуктов. Однако нужны передовые технические и технологические решения в точках взаимодействия морского и речного, речного и автомобильного транспорта, усовершенствованные способы перегрузочных работ, комбинированные перевозки [6].

«Стратегией развития минерально-сырьевой базы России до 2035 г.» [8] определены наиболее важные направления развития. Среди них – поиск и разведка крупных месторождений в доказанных продуктивных комплексах Восточной Сибири и севере Западной Сибири. Проведение разведки новых перспективных комплексов в нижних глубоких этажах Западно-Сибирской плиты и Восточно-Сибирской платформы. Следующее направление - геологическое изучение арктического и дальневосточного шельфов России, а при улучшении внешней конъюнктуры их активное освоение.

Стратегией развития внутреннего водного транспорта одобренной Правительством Российской Федерации среди методов и механизмов государственного управления развития внутреннего водного транспорта предусматривается обеспечить доминирующую роль этого вида транспорта в перевозках грузов в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности, тем самым решая социально-экономические проблемы на этой территории России.

Для обустройства северных территорий необходимы в значительных количествах строительные материалы, машины, оборудование, промышленные и продовольственные товары, которые нужно завозить на эти территории. В этих условиях водный транспорт является жизнеобеспечивающим и становится основным фактором успешного освоения природных богатств северных районов Сибири и Заполярья.

Организация транспортного обеспечения определяется особенностями этого региона:

– Районы нового освоения трудодефицитны, в них практически отсутствуют местные трудовые ресурсы. Плотность населения в этих районах крайне низкая (таблица).

Таблица – Плотность населения

Наименование республик, краев, областей и автономных округов	Плотность населения, чел/км ²
Эвенкийский автономный округ в составе Красноярского края	0,02
Чукотский автономный округ	0,07
Республика Саха (Якутия)	0,3
Ямало-Ненецкий автономный округ	0,7
Красноярский край	1,27
Тюменская область	2,3
Республика Татарстан	55,6
Московская область (без г. Москвы)	143,9

– Суровые природно-климатические условия. Например, средняя температура января в Салехарде, Березове (Западная Сибирь) – минус 24-25 °С, в Игарке и Сеймчане (Восточная Сибирь) – минус 29-39 °С. Самые низкие температуры доходят до минус 60 °С и ниже в республике Саха. (Якутия). Для таких районов необходимо создавать специальную технику из морозостойкой стали.

– Сроки замерзания и вскрытия рек, озер, морей, обмеления рек зависят от сезонных колебаний температур воздуха, что существенно отражается на работе водного и автомобильного транспорта, а, следовательно, и на всей хозяйственной жизни региона.

– В северной азиатской части России преобладают в основном вечномёрзлые грунты и тундровые заболоченные почвы. Это обстоятельство существенно увеличивает расходы на строительство дорог, аэродромов и эксплуатацию сооружений, расходы на буровзрывные работы при добыче полезных ископаемых.

Многолетняя мерзлота занимает обширную территорию нашей страны к востоку от Ени-

сея, в северных районах Западной Сибири (севернее 62° с.ш.). Мощность мерзлого слоя может колебаться в широких пределах – от нескольких метров (в южных районах) до нескольких сотен метров. Максимальная мощность (1500 м) в бассейне р.Вилкой.

– Наличие таких факторов как осадки, метели, плохая видимость. При определенных значениях этих параметров усложняется движение транспорта, сокращается время работы строительной техники.

– Слабая схема магистральных транспортных путей, опорную сеть которой составляют речной транспорт, Северный Морской путь, и частично, широтные и меридиональные железные и автомобильные дороги [3].

Важность внутреннего водного транспорта для освоения Сибирской Арктики требует анализ современного состояния организации завоза грузов и работы речного флота эту на территорию. С учетом этих вышеизложенных особенностей необходимо разработать научно-методические положения по обоснованию схем завоза грузов, которые позволяют сформировать предложения по совершенствованию организационных основ эффективного транспортного обслуживания малоосвоенных территорий и использования транспортного флота в новых современных экономических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Агеева, В.В. Пересмотр нереализованных проектов искусственных водных путей в контексте устойчивого развития транспортной инфраструктуры Сибири / В.В. Агеева, И.А. Агеев, Е.А. Шильцова // - Вестник науки Сибири. -2015. -№4(19). -С. 72-87.
- 2 Бунеев, В.М. Пути реализации стратегии развития внутреннего водного транспорта в Сибирском регионе / В.М. Бунеев, В.А. Виниченко, С.Н. Масленников // -Речной транспорт (XXI век). -2017. - №3(83). -С. 52-54.
- 3 Зачесов, А.В. Судоходство в ограниченных условиях плавания / А.В. Зачесов. -Новосибирск: Изво Новосибир. гос. акад. вод. трансп., 2011. -172 с.
- 4 Масленников С.Н. Перспективы водного транспорта в освоении Сибирской Арктики / С.Н. Масленников // -Транспортное дело России. -2017. - №6(133). -С. 122-124.
- 5 Никифоров, В.С. Развитие речного транспорта Сибири и Дальнего Востока: потребности и возможности / В.С. Никифоров, С.Н. Масленников, В.Н. Цыпляков // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2015. -№3. -С. 3-6.
- 6 Костров, В.Н. Перспективные направления и методы государственного управления на водном транспорте в современных условиях / В.Н. Костров, А.О. Ничипорук, Д.Н. Сухарев // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2016: сб. тр. девятой межд. конф. (3-5 окт. 2016 г.). -М., 2016. -Т.1. -С. 415-418.
- 7 О проекте Стратегии социально-экономического развития Республики Саха (Якутия) на период до 2030 года с определением целевого видения до 2050 года. -Режим доступа: <http://src-sakha.ru/wp-content/uploads/2017/02/Strategiya-455-ot-26.12.2016.pdf>. -08.02.2018.
- 8 Стратегия развития минерально-сырьевой базы России до 2035 г. ответит на вызовы времени и определит отраслевые приоритеты. -Режим доступа: http://www.mnr.gov.ru/press/news/detail.php?ID=343474&sphrase_id=4319368. -08.11.2017.
- 9 Некрасов Н.А. Экономические проблемы внутреннего водного транспорта и перспективы его развития / Н.А. Некрасов, А.М. Варакса, И.Г. Фютик // -Идеи и идеалы. -2017. -№3(33). -С. 145-153.
- 10 Варакса, А.М. Учет внутрирейтинговой оценки при выборе оптимального типа состава / А.М. Варакса, Е.А. Григорьев // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2015. -№4. -С. 58-60.

REFERENCES

- 1 Ageeva V.V., Ageev I.A., Shil'tsova E.A. Revision of unrealized projects of artificial waterways in the context of sustainable development of Siberian transport infrastructure [Peresmotr nerealizovannykh proektov iskusstvennykh vodnykh putei v kontekste ustoychivogo razvitiya transportnoi infrastruktury Sibiri]. Siberian Journal of Science [Vestnik nauki Sibiri]. 2015. No. 4(19). pp. 72-87.
- 2 Buneev V.M., Vinichenko V.A., Maslennikov S.N. Ways of implementing the strategy of development of inland water transport in the Siberian region [Puti realizatsii strategii razvitiya vnutrennego vodnogo transporta v Sibirskom regione]. *Rechnoi transport (XXI vek)*. 2017. No. 3(83). pp. 52-54.
- 3 Zachesov A.V. Navigation in restricted conditions [Sudokhodstvo v ogranichennykh usloviyakh plavaniya]. Novosibirsk. Novosibirsk St. Acad. of Watwe Transp. Publ. 2011. 172 p.
- 4 Maslennikov S.N. Opportunities of water transport in the development of the Siberian Arctic [Perspektivy vodnogo transporta v osvoenii Sibirskoi Arktiki]. Transport business of Russia [Transportnoe delo Rossii]. 2017. No. 6(133). pp. 122-124.
- 5 Nikiforov V.S., Maslennikov S.N., Tsyplakov V.N. Siberian and the Far East river transport development: demands and opportunities [Razvitie rechnogo transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka: potrebnosti i vozmozhnosti]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2015. No. 3. pp. 3-6.
- 6 Kostrov V.N., Nichiporuk A.O., Sukharev D.N. Promising trends and methods of state management on water transport in present day situation [Perspektivnye napravleniya i metody gosudarstvennogo upravleniya na vodnom transporte v sovremennykh usloviyakh]. Management of Large-scale System Development» (MLSD'2016) [Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem MLSD'2016]. Moscow. 2016. Vol. 1. pp. 415-418.
- 7 On the draft Strategy for Social and Economic Development of the Republic of Sakha (Yakutia) for the period until 2030 with the definition of the target vision until 2050 [O proekte Strategii sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Sakha (Yakutiya) na period do 2030 goda s opredeleniem tselevogo videniya do 2050 goda]. -URL: <http://src-sakha.ru/wp-content/uploads/2017/02/Strategiya-455-ot-26.12.2016.pdf>. -08 Feb. 2018.
- 8 Mineral raw material base development strategy of Russia until 2035 will respond to the challenges of the time and determine the sectoral priorities [Strategiya razvitiya mineral'no-syryevoy bazy Rossii do 2035 g. otvetit na vyzovy vremeni i opredelit otraslevye prioritety]. -URL: http://www.mnr.gov.ru/press/news/detail.php?ID=343474&sphrase_id=4319368. -08 Nov. 2017.
- 9 Nekrasov N.A., Varaksa A.M., Fyutik I.G. Inland water transport economic issues and challenges and prospects of development [Ekonomicheskie problemy vnutrennego vodnogo transporta i perspektivy ego razvitiya]. *Idei i idealy*. 2017. No. 3(33). pp. 145-153.
- 10 Varaksa A.M., Grigor'ev E.A. Consideration of rating evaluation on the step of selecting the optimal type of towing boat and barge line [Uchet vnutrireitingovoi otsenki pri vybere optimal'nogo tipa sostava] // *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2015. No. 4. pp. 58-60.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

Арктика, Сибирь, водный транспорт, ресурсный потенциал
Сахнов Дмитрий Юрьевич, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

УМЕНЬШЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА РЕЧНЫМИ СУДАМИ ПРИ УСТАНОВЛЕННОМ РЕЖИМЕ ДВИЖЕНИЯ

ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)»

А.А. Потемкин

REDUCTION OF FUEL CONSUMPTION BY RIVER SHIPS UNDER THE SET MOTION MODE

Russian University of Transport (RUT) 9b9, Obrazcova St., Moscow, 127994, Russia

Andrei A. Potemkin (Graduate student of RUT)

ABSTRACT: The issues of reducing fuel consumption by river ships under the set motion mode are considered. It is shown that the minimization of fuel consumption should be carried out based on direct costs associated with a certain fixation of the arrival time, or the optimization of profit with an unlimited time of arrival. An optimization model is presented, which has been tested and proved to be effective. Authors obtained the optimum fuel consumption plots for the main engines, depending on the given total running time of the motion.

Keywords: fuel consumption reduction, set motion mode, main engines, river ship

Рассмотрены вопросы уменьшения расхода топлива речными судами при установленном режиме движения. Показано, что минимизацию расхода топлива следует осуществлять, исходя из непосредственных затрат, связанных с определенной фиксацией времени прибытия, либо оптимизации прибыли при неограниченном времени прибытия. Представлена модель оптимизации, прошедшая проверку на практике и доказавшая свою эффективность. Получены графики оптимального расхода топлива для главных двигателей в зависимости от заданного общего ходового времени движения.

Из проведенного анализа возможных вариантов эксплуатации можно выделить такие критерии оптимизации движения речных судов как [1]:

- минимизация топлива, исходя из времени прибытия, которое задано;
- минимизация непосредственных затрат, связанных с определенной фиксацией времени прибытия;
- оптимизация прибыли при неограниченном времени прибытия.

Первая модель предполагает, что заранее известно о времени простоя судна в пункте, куда оно прибывает. Это время не регулируется независимо от протяженности времени хода.

Все непосредственные расходы судна будут неизменны, также как способность провоза и доходы.

Экономия, в этом случае, может быть получена только за счет экономии топлива и смазки с учетом оптимизации скорости при движении по отдельным участкам водных путей.

Задача оптимизации здесь решается при учете прогноза обработки судов в данном порту прибытия, затем задаётся рекомендуемое время прибытия.

Оптимизируемое время прибытия, в этом случае, может быть равно или немного меньше того времени, которое рекомендуется.

В этом случае, модель оптимизации [2]:

$$\sum_{k=1}^N G_k \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$t_k^{\min} \leq t_k \leq t_k^{\max}; \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^N t_k = T, \quad (3)$$

где k – номер участка на водном пути;

N – число участков на водном пути;

G_k – топливный расход, кг;

$t_k^{\min}$ – время хода по минимуму, которое вычисляется из скорости по максимуму при движении судна, ч;

t_k – время хода на номере k участка, ч;

$t_k^{\max}$ – время хода по максимуму, которое вычисляется из скорости по минимуму при движении судна, ч;

T – установленное время хода, ч.

Функции G_k не описываются в замкнутом аналитическом виде.

Тем не менее, их можно описать с достаточной точностью с помощью степенных парабол с учетом для конкретного судна и конкретных условий при плавании [3]

$$G_k = g \frac{(t_k^{\min})^\beta}{t_k^{\beta-1}}; \beta \in [3, 4], \quad (4)$$

где g_k – часовой расход топлива при $t_k = t_k^{\min}$, кг/ч.

Функция (1) непрерывна и непрерывно дифференцируемая, вследствие того, что $t_k^{\min}, t_k^{\max} \geq 0$, она является выпуклой в области (1), (3). Ограничения (1), (3) имеют такие же свойства.

Теорема Куна-Такера в этом случае применима, из нее следуют уравнения [4]:

$$(1-\beta)\lambda_0 g_k \frac{t_k^{\min}}{t_k^\beta} + \lambda_k - \mu_k + \nu = 0; \lambda_k (t_k - t_k^{\max}) = 0; \mu_k (t_k^{\min} - t_k) = 0; \nu \left(\sum_{k=1}^N t_k - T \right) = 0; k = 1, \bar{N}, \quad (5)$$

а множители Лагранжа λ_0 , λ_k , μ_k и ν не равны нулю одновременно.

Система (5) является достаточными условиями оптимальности Куна-Такера, для этого случая – это система $3N + 1$ нелинейных уравнений.

Получим после некоторых упрощений и преобразований три группы участков, с номерами m, n, ℓ .

Для каждой группы участков решение запишем в следующем виде [4]

$$\begin{aligned} t_m &= t_m^{\min}; \\ t_n &= t_n^{\max}; \\ t_\ell &= \left(T - \sum_m t_m^{\max} - \sum_n t_n^{\min} \right) \frac{t_\ell^{\min \beta} \sqrt{g_\ell}}{\sum_\ell t_\ell^{\min \beta} \sqrt{g_\ell}}. \end{aligned} \quad (6)$$

В силу свойств функции и принятых ограничений такое решение является единственным, и конкретный набор индексов m, n, ℓ определяется простым перебором [5].

Решение, которое получено, является приближенным из-за погрешности, которую вносит аппроксимация (4), оно зависит от параметра β . При реализациях данной модели на практике оно обычно $\beta = 3$.

Подтверждением является факт качественно верного описания истинной кривой часового расхода топлива кубической параболой, и, таким образом, нахождения с достаточной точностью положения точки минимума функции (1) [6].

Возможно отыскать решения при нескольких значениях β для уточнения расчёта, и определить из них то, которое обеспечивает наименьший топливный расход.

На рисунке 1 изображена типичная кривая оптимального расхода топлива на главные двигатели в зависимости от заданного общего ходового времени движения.

Из графика видно, что приблизительно при 115 ч кривая имеет излом, таким образом, на некоторых участках видно достижение максимально возможной скорости движения.

Ограничения 2 неактивны при общем времени движения большем, чем 115 ч.

Для оценки эффекта оптимизации используем статистические нормы времени следования и рассчитаем топливо для нормированного и оптимального режимов движения (таблица 1) [7].

Эти результаты показывают, что время, указанное в нормах следования, достаточно близко к оптимальному.

При использовании второй модели необходимо, чтобы судно выдержало общую норму

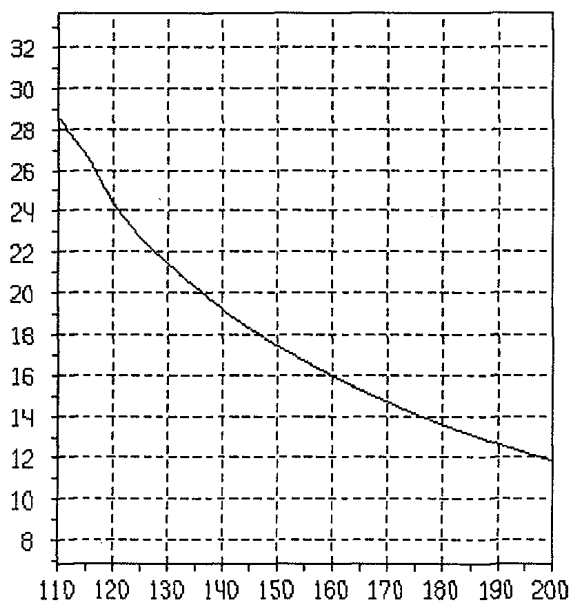


Рисунок 1 – Зависимость расхода топлива (т) от ходового времени (ч) при оптимальном режиме движения

времени хода на маршруте, то есть время прибытия согласно договору.

Таблица 1 – Пример расхода топлива на рейс

Расстояние, км	Глубина, м	Время (нормативное), ч	Расход (нормативный), т	Время (расчетное), ч	Расход (расчетный), т
457	7,8	38	8,69	37,8	8,75
58	7,2	5	1,49	5,5	1,32
152	23	9	1,99	9,1	1,94
366	17,4	25	4,27	23,1	5,01
275	13,4	18	3,84	17,9	3,91
62	12,9	5	0,87	4,5	1,02
294	20,6	16	5,08	18,1	3,90
1664	–	116	26,23	116	25,85

Такую задачу при эксплуатации решают, когда обосновывается режим движения арендных судов и при оплате перевозки груза в целом за судно [8].

Здесь все непосредственные расходы оптимизируются, включая расходы на топливо.

Если использовать только критерий минимума расхода топлива, то в этом случае, можно не получить нужный эффект.

Оптимальное время прибытия, при этом, может быть равно или меньше заданного по нормативу.

Оптимизационная модель [9]:

$$C_T \sum_{k=1}^N G_k + r \sum_{k=1}^N t_k \rightarrow \min; \quad (7)$$

$$t_k^{\min} \leq t_k \leq t_k^{\max}; \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^N t_k \leq T, \quad (9)$$

где C_T – топливная цена, руб./кг;

r – непосредственные расходы по судну (исключая расходы на топливо и смазку), руб./ч.

У функции (7) первое слагаемое убывает асимптотически до нуля при увеличении T , а второе слагаемое возрастает линейно. Таким образом, у функции (7) имеется точка минимума. При увеличении r средняя оптимальная скорость повышается.

Выражения (7)-(9) также обладают свойством выпуклости, и, как и в первой модели, из условий оптимальности следует решение в аналитическом виде

$$\begin{aligned} t_m &= t_m^{\min}; \\ t_n &= t_n^{\max}; \\ t_i &= t_i^{\min \beta} \sqrt{(\beta - 1) \frac{C_T}{r} g_i}. \end{aligned} \quad (10)$$

Если не действует ограничение (9), или если при решении (6) достигнута меньшая величина функции (7), то решением является (6).

Возможен другой способ решения. При зафиксированном ходовом времени T минимальное значение функции цели будет вычисляться по (6). То есть, задача (7)-(9) приведет к одномерной, относительно общего времени, хода. Такой метод можно использовать при дальнейшем анализе моделей более сложной структуры.

Рассмотрим функционирование этой модели на конкретном примере. Данные используем, как в первой модели. Условно считаем, что цена топлива составляет 200 долларов за тонну, а суточные расходы – 1300 долларов.

График целевой функции (7) для разных величин ходового времени при режиме движения в оптимуме (рисунок 1) представлен на рисунке 2. Из рисунка 2 следует, что минимальные затраты на рейс получатся при общем времени движения танкера равном приблизительно 125 ч.

Как следует из (10), меньшие значения r способствуют смещению точки минимума вправо, судно должно уменьшить величину хода. Таким образом, в данном случае критерием оптимизации является среднесуточная прибыль. Оптимизационная модель примет вид

$$\frac{Qd - \zeta_T \sum_{k=1}^N G_k}{\sum_{k=1}^N t_k} \rightarrow \max; \quad (11)$$

$$t_k^{\min} \leq t_k \leq t_k^{\max}, \quad (12)$$

где d – расчётная ставка при фрахтовании, руб./т;

Q – загрузка судна при эксплуатации.

Непосредственные расходы не входят в состав целевой функции (11), потому что они не определяют положение точки максимума при сделанном допущении об их прямой пропорции рейсовому времени.

Решение задачи (11), (12) выполняется численными методами. Тем не менее, это решение можно упростить. Сделаем допущение известности об общем оптимальном времени рейса. Такая задача сводится к решению (1)-(3).

В этом случае, сформулируем одномерную задачу оптимизации в следующем виде [10, 11]

$$\frac{Qd - \zeta_T \sum_{k=1}^N G_k}{T + T_c} \rightarrow \max; \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^N t_k^{\min} \leq T \leq \sum_{k=1}^N t_k^{\max}, \quad (14)$$

здесь T_c – общее нормативное стояночное рейсовое время, ч; t_k определяются учитывая (6).

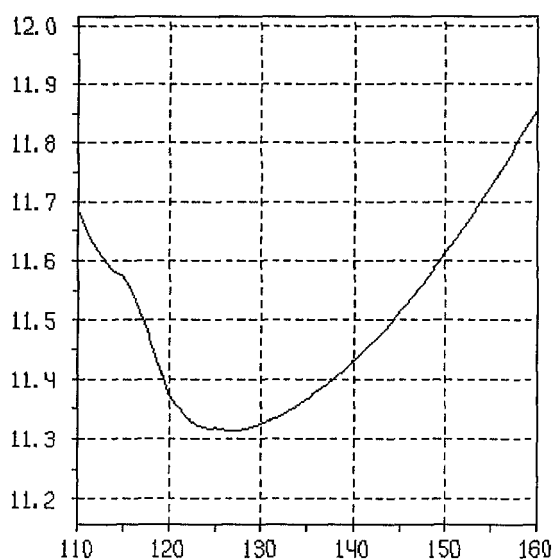


Рисунок 2 – Суммарные затраты при режиме движения в оптимуме, тыс. долларов

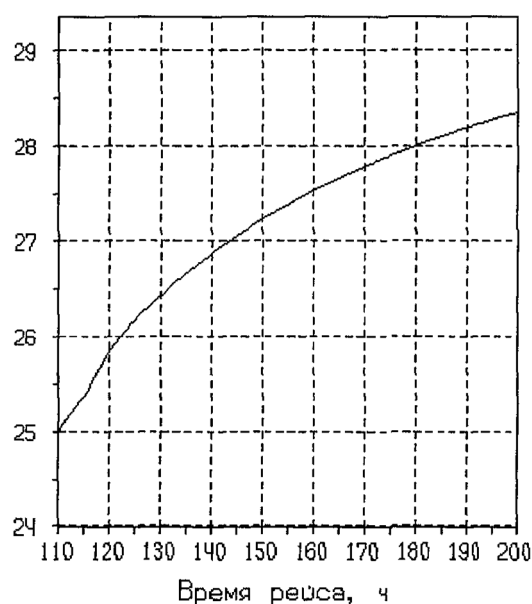


Рисунок 3 – Числитель от (13), $d = 6,4L$, $\zeta_T = 200\,000$ долларов

Решение многомерной задачи сводится к определению на отрезке (14) максимума одномерной функции. Находящаяся в числителе (13) функция, учитывая, что все t_k вычисляются по (6), является монотонно возрастающей от T в области (14) (рисунок 3).

Второе слагаемое знаменателя стремится к нулю асимптотически.

А так как при $T \rightarrow 0$ функция $\sum G_k \rightarrow \infty$, то определённых условиях в области (14) существует точка максимума функции (13), она тем правее по оси абсцисс, чем больше величина ζ_T и чем больше величина T_c .

Повышение значения ставки d фрахта перемещает точку максимума влево, таким образом, увеличивая оптимальную среднюю скорость движения судна.

Анализ показал, что во многих практических задачах аппроксимация (рисунок 3) может выглядеть так

$$Qd - \sum_k G_k \approx A - \frac{B}{T}; A, B > 0,$$

причём $A \approx Qd$, а B пропорционален C_T примерно.

Точки экстремума определяются с помощью (13)

$$T = \Psi + \sqrt{\Psi^2 + T_c \Psi},$$

где

$$\Psi = \frac{A}{B}.$$

В простейшем случае $T_c = 0$.

Тогда

$$T = 2 \frac{B}{A}.$$

То есть, если цена топлива небольшая, то судно должно двигаться на максимальной скорости. Величина фрахтовой ставки имеет обратное влияния [12]. При увеличении стояночного времени T_c происходит смещение точки максимума вправо по оси абсцисс. Откуда следует, что построенная модель является физически корректной.

Выводы. Построена модель оптимизации, доказавшая свою эффективность на практике. Динамика полученных графиков целевых функций показывает полное совпадение с аналитическими расчетами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Соляков, О.В. Использование современных глобальных навигационных спутниковых систем и их функциональных дополнений на внутренних водных путях: монография / О.В. Соляков. -М.: Изд-во Моск. гос. акад. водн. трансп., 2016. -176 с.

2 Румянцев, А.Ю. Оптимальное управление в системах электродвижения судов по критерию минимума потерь / А.Ю. Румянцев, В.Ф. Самосейко, Н.В. Белоусова // -Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. -2016. -№6(40). -С. 206-213.

3 Сахаров, В.В. Алгоритм энергоэффективного управления курсом судна / В.В. Сахаров, А.Г. Таранин, А.А. Чертков // -Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. -2013. -№3 (22). -С. 38-46.

4 Korn, A.G. Mathematical handbook for scientists and engineers: definitions, theorems, and formulas for reference and review / G.A. Korn, T.M. Korn. -N.Y.: Dover Publications, Inc., 2000. -1130 p.

5 Gao, S. Real-time traveler information for optimal adaptive routing in stochastic time-dependent networks / S. Gao, N. Huang // -Transportation Research Part C: Emerging Technologies. -2012. -Vol. 21. -P. 196-213.

6 Лебедева, М.П. Методика оценки безопасного движения судов в стесненной акватории / М.П. Лебедева, С.Д. Айзинов, А.О. Лебедев // -Вестник Государственного университета морского и речного флота. имени адмирала С.О. Макарова. -2017. -Т.9. -№1. -С. 111-120.

7 Студеникин, Д.Е. Применение систем принятия решений для выбора параметров маневра судна / Д.Е. Студеникин, А.А. Григорян, Н.А. Маковецкая // -Эксплуатация морского транспорта. -2015. -№4. -С. 58-62.

8 Мироненко, А.А. Модель программного движения судна в стесненных водах / А.А. Мироненко // -Мехатроника, автоматизация, управление. -2013. -№2. -С. 65-70.

9 Weng, J. Ship collision frequency estimation in port fairways: a case study / J. Weng, S. Xue // -Journal of Navigation. -2015. -Vol. 68. -No. 3. -P. 602-618.

10 Гриняк, В.М. Оценка и представление параметров безопасного движения судна / В.М. Гриняк, М.В. Трофимов, В.И. Люлько // -Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. -2016. -№4(38). -С. 51-61.

11 Burmeister, H.C. Interaction of Harsh Weather Operation and Collision Avoidance in Autonomous Naviga-

REFERENCES

1 Solyakov O.V. The use of modern global navigation satellite systems and their functional additions on inland waterways [Is-pol'zovanie sovremennykh global'nykh navigatsionnykh sputnikovykh sistem i ikh funktsional'nykh dopolnenii na vnutrennikh vodnykh put-yakh]. Moscow. Moscow St. Acad. of Water Transp. Publ. 2016. 176 p.

2 Rumyantsev A.Yu., Samoseiko V.F., Belousova N.V. Optimal control in the systems of electric propulsion of ships by the criterion of minimum losses [Optimal'noe upravlenie v sistemakh elektrodvizheniya sudov po kriteriyu minimuma poter]. Admiral Makarov state university of maritime and inland shipping reporter [Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova]. 2016. No. 6(40). pp. 206-213.

3 Sakharov V.V., Taranin A.G., Chertkov A.A. Energoefficient ship steering control algorithm [Algoritm energoeffektivnogo upravleniya kursom sudna]. Admiral Makarov state university of maritime and inland shipping reporter [Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova]. 2013. No. 3(22). pp. 38-46.

4 Korn A.G., Korn T.M. Mathematical handbook for scientists and engineers: definitions, theorems, and formulas for reference and review. N.Y.: Dover Publications, Inc., 2000. 1130 p.

5 Gao S., Huang H. Real-time traveler information for optimal adaptive routing in stochastic time-dependent networks. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2012. Vol. 21. pp. 196-213.

6 Lebedeva M.P., Aizinov S.D., Lebedev A.O. Technique of assessment of the safe navigation in the "constrained" water area [Metodika otsenki bezopasnogo dvizheniya sudov v stesnennoi akvatorii]. Admiral Makarov state university of maritime and inland shipping reporter [Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota. imeni admirala S.O. Makarova]. 2017. Vol. 9. No. 1. pp. 111-120.

7 Studenikin D.E., Grigoryan A.A., Makovetskaya N.A. The use of decision support systems for choosing parameters of vessel's maneuvering [Primenenie sistem prinyatiya reshenii dlya vybora parametrov manevra sudna]. Marine transport operation [Ekspluatatsiya morskogo transporta]. 2015. No. №4. pp. 58-62.

8 Mironenko A.A. Vessel program motion model in constrained waters [Model' programmnoy dvizheniya sudna v stesennykh vodakh]. Mechatronics, automation, control [Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie]. 2013. No. 2. pp. 65-70.

9 Weng J., Xue S. Ship collision frequency estimation in port fairways: a case study. Journal of Navigation. 2015. Vol. 68. No. 3. pp. 602-618.

10 Grinyak V.M., Trofimov M.V., Lyul'ko V.I. Data visualization of ship collision avoidance system [Otsenka i predstavlenie parametrov bezopasnogo dvizheniya sudna]. Admiral Makarov state university of maritime and inland shipping reporter [Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova]. 2016. No. 4 (38). pp. 51-61.

tion / H.C. Burmeister, W.C. Bruhn, L. Walthe // -TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. -2015. -Vol. 9. -No.1. -P. 31-40.

12 Benedict, K. Simulation Augmented Manoeuvring Design and Monitoring - a New Method for Advanced Ship Handling / K. Benedict, M. Kirchhoff, M. Gluch, S. Fischer, M. Schaub // -TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. -2014. -Vol.8. -No.1. -P. 131-141.

11 Burmeister H.C., Bruhn W.C. and Walthe L. Interaction of Harsh Weather Operation and Collision Avoidance in Autonomous Navigation. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2015. Vol. 9. No. 1. pp. 31-40.

12 Benedict K., Kirchhoff M., Gluch M., Fischer S. and Schaub M. Simulation Augmented Manoeuvring Design and Monitoring - a New Method for Advanced Ship Handling. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2014. Vol. 8. No. 1. pp. 131-141.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

снижение расхода топлива, установленный режим движения, главные двигатели, речное судно

Потемкин Андрей Александрович, аспирант РУТ (МИИТ)

127994, г.Москва, ул.Образцова, 9, стр.9, РУТ (МИИТ)

АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет экономики и управления»

Ю.И. Пивон, Т.Н. Дудина

ANALYSIS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE FACILITIES IN THE SIBERIAN REGION

Novosibirsk State University of Economics and Management (NSUEM) 52/1, Kamenskaya St., Novosibirsk, 630099, Russia

Yurii I. Pivon (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of NSUEM)

Tat'yana N. Duduna (Ph.D. of Economic Sciences, Assoc. Prof. of NSUEM)

ABSTRACT: The issues of transport logistics for the regions of the Siberian Federal District are considered. This area of investigation is currently important considering the modern logistics development.

Keywords: transport logistics, transport infrastructure, safe allowable load

Рассмотрены вопросы транспортной логистики для регионов Сибирского Федерального округа. Данная тематика с учетом современного логистического развития является весьма актуальной.

Водный транспорт является одним из важнейших логистических звеньев в транспортной инфраструктуре перевозок на территории Российской Федерации. Особенно это касается Сибирского Федерального округа. Отсутствие развитой логистической инфраструктуры на значительной территории Сибирского Федерального округа приводит к тому, что наиболее значимым является водный транспорт.

В настоящее время решается вопрос строительства железно- и автодорог до Якутска. Но даже и эти транспортные артерии не обеспечат в ближайшее время будущую логистику для Талаканской группы месторождений, не говоря уже об обеспечении устойчивой связью с Колымский, Янский, Индигирский и другие бассейны, в которых сосредоточена достаточно большая часть полезных ископаемых.

Такие же проблемы и для ряда других регионов (Таймыр, объекты нефтедобычи на территории Больших Васюганских болот Западной Сибири и т.д.). Следовательно, основная транспортная логистическая схема имеет тяготение к водному транспорту.

Важным звеном в этой цепочке являются портовые гидротехнические сооружения. Основная часть данных сооружений была запроектирована и построена в период с 1960-1980 годов. Опыт проектирования и строительства показывает, что подавляющая часть причалов была предназначена под установку порталных кранов, в основной части выпускаемых в бывших странах Совета экономической взаимопомощи, а именно, – в Германской и Венгерской демократических республиках.

Согласно «Норм технологического проектирования» [2], проектная допускаемая нагрузка принималась интенсивностью 40 кН/м^2 , что обеспечивало безопасную эксплуатацию причальных сооружений с использованием порталных, либо мостовых (козловых) кранов грузоподъемностью до 32 т (значительно реже до 40 т) с подпортальными путями железнодорожных составов.

Опыт эксплуатации данного рода сооружений показывает, что средний срок наработки [3], составляет порядка 31,5 года до проведения ремонтно-восстановительных работ (реконструкции). Это значит, что к настоящему времени, большая часть из них, превысила предел несущей способности.

Анализ натурных исследований показывает, что в системе портовое сооружение-грунт имеется ряд запасов [4], следовательно, при проведении опытных исследований существующих сооружений, фактическую несущую способность можно определить только после полного комплекса натурных исследований.

На этом фоне, успешно развивающиеся компании стремятся модернизировать устаревшее перегрузочное оборудование (как по моральным, так и по энергетическим параметрам), на современное.

Например, технико-экономический анализ, проведенный Дудинским морским портом, по замене порталных кранов марок «Ганц», «Абус» и др. на современный «Либхер», показал, что по техническим характеристикам последний заменяет по производительности порядка 2,5 кранов «Ганц» грузоподъемностью 16/27,5 т.

Но, первый вопрос, – справочник допускаемых нагрузок, который составляется, согласно Технического регламента №623 «О безопасности объектов внутреннего водного транспорта». Так фактическая нагрузка от перегрузочной машины «Либхер» на 25% превышает допускаемую паспортную.

Такие же примеры можно привести для ООО «ТСЛК» в г.Усть-Куте на р.Лена [5], где в результате глубокой модернизации, порталные краны были заменены на перегрузочные машины «Sinnebogen» грузоподъемностью до 48 т, замены мостовых кранов на многофункциональный перегрузочный комплекс «Mantsinen».

Вопросы – те же, – для существующих сооружений нагрузки не могут превысить указанные в справочнике допускаемые нагрузки, особенно, с учетом степени физического износа сооружений. Например – перегрузочный комплекс цеха приема и подачи древесины АО «Группа Илим» в Братском районе [6].

Для решения этих проблем для каждого перегрузочного комплекса приходится разрабатывать проект усиления.

Это не только дорого, но и продолжительно по времени, так как согласно [1], необходимо согласование со службой по надзору в сфере транспорта. Как правило, даже у территориальных подразделений службы, функции согласования в Уставе не записаны, следовательно, процесс согласования может занять, как показывает практика до нескольких месяцев.

Для решения этих задач, необходимо разработать систему типовых технологических вариантов усиления конструкций, чтобы отойти от дорогостоящих проектов для каждого конкретного сооружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Постановление Правительства РФ от 12.08.2010 г. №623 «Об утверждении технического регламента о безопасности объектов внутреннего водного транспорта» (вступ. в силу с 12.02.2012 г.) // СПС КонсультантПлюс.

2 Нормы технологического проектирования портов на внутренних водных путях. -М.: Служба речного флота Минтранса РФ, 1997. -112 с.

3 Пивон Ю.И. Эксплуатационная надежность портовых перегрузочных комплексов на территории Сибири: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.22.19 / Пивон Юрий Иванович. -Новосибирск, 2000. -17 с.

4 Бик, Ю.И. Определение остаточного ресурса подпорных сооружений в виде металлических больверков / Ю.И. Бик, Ю.И. Пивон // -Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. -2000. -№12. -С. 21-25.

5 Исследования несущей способности причальных набережных ООО «ТСЛК»: отчет о научн.-иссл. раб. -Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. ун-в. водн. трансп., 2015. -100 с.

6 Исследования несущей способности причальной набережной ОАО «ГРУППА ИЛИМ»: отчет о научн.-иссл. раб. -Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. ун-в. водн. трансп., 2012. -123 с.

REFERENCES

1 Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 12.08.2010. No. 623 On the safety of inland waterway facilities [Ob utverzhdenii tekhnicheskogo reglamenta o bezopasnosti ob"ektov vnutrennego vodnogo transporta (vstup. v silu s 12.02.2012)]. "Consultant-Plus" law reference system.

2 Standards of port technological design on inland waterways [Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya portov na vnutrennikh vodnykh putyakh]. Moscow. River Fleet Service, Russian Federation Mintrans. 1997. 112 p.

3 Pivon Yu.I. Operational reliability of port handling terminals in the territory of Siberia [Ekspluatatsionnaya nadezhnost' portovykh peregruzochnykh kompleksov na territorii Sibiri]. Novosibirsk. Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. Publ. 2000. 17 p.

4 Bik, Yu.I., Pivon Yu.I. Determination of the residual resource of retaining structures of quays with steel sheet piling [Opredelenie ostatocnogo resursa podpornykh sooruzhenii v vide metallicheskih bol'verkov]. Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo i arkhitektura. 2000. No. 12. pp. 21-25.

5 Studies of quays bearing capacity at TSLK Ltd. [Issledovaniya nesushchei sposobnosti prichal'nykh naberezhnykh ООО «ТСЛК»]. Novosibirsk. Siberian St. Univ. of Water Transp. 2015. 100 p.

6 Studies of quays bearing capacity at JSC "GRUPPA ILIM", research work report [Issledovaniya nesushchei sposobnosti prichal'noi naberezhnoi ОАО «ГРУППА ИЛИМ»]. Novosibirsk. Siberian St. Univ. of Water Transp. 2012. 123 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспортная логистика, транспортная инфраструктура, допускаемые нагрузки

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Пивон Юрий Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Дудина Татьяна Николаевна, канд. экон. наук, доцент НГУЭУ

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Каменская, 56, НГУЭУ

ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА ПО ДОСТАВКЕ ГРУЗОВ НА ПРИТОКИ МАГИСТРАЛЬНЫХ РЕК

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

М.Г. Синицын, Г.Я. Синицын, С.Е. Шарф

INDICATORS OF TRANSPORT PROCESS ORGANIZATION EFFICIENCY FOR DELIVERY OF GOODS ON THE TRIBUTARIES OF MAIN STEMS

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Mikhail G. Sinitsyn (Senior Lecturer of SSUWT)

Gennadii Ya. Sinitsyn (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

Sergei E. Sharf (Master's Degree of SSUWT)

ABSTRACT: The indicators of the efficiency of the organization of the transport process for the delivery of goods to the tributaries of main stems are considered. Authors made a review of scientific figures and their contribution to the theory of the organization of the transport process. Methods for calculating performance indicators are presented.

Keywords: *prime cost, transport processes efficiency, performance criteria, transport services*

Рассмотрены показатели эффективности организации транспортного процесса по доставке грузов на притоки магистральных рек. Произведен обзор научных деятелей и их вклад в теорию организации транспортного процесса. Представлены методики расчета показателей эффективности.

Внутренний водный транспорт относится к одному из древнейших видов транспорта. Россия обладает большой разветвленной сетью речных путей и озер. Однако существенную роль он играет либо в тех регионах, где направления основных транспортно-экономических связей и речных путей совпадают (Волжско-Камский речной бассейн), либо в слабоосвоенных регионах с практически полным отсутствием альтернативных видов транспорта (север и северо-восток страны), где сеть железных дорог недостаточна, а густота сети внутренних водных путей в 2 раза превышает аналогичный показатель в среднем по Российской Федерации. Поэтому доля речного транспорта в общем грузообороте этих районов составляет от 65 до 90%, тогда как в целом по России этот показатель составляет 2%.

Роль речного транспорта в экономике России определяется не столько масштабностью транспортной работы, сколько особой значимостью выполняемых им функций.

Помимо транспортного обслуживания районов Сибири и Дальнего Востока, включая Арктику, речной транспорт также выполняет сложные дорогостоящие перевозки на притоки магистральных рек в труднодоступных районах.

Теория организации транспортного процесса на внутреннем водном транспорте начала формироваться в начале XX в. Основателями ее считаются профессора В.И. Орлов и Б.Ю. Калинович, член-корреспондент Академии наук СССР, профессор В.В. Звонков, которые сформулировали основные теоретические положения по организации транспортного процесса на внутреннем водном транспорте (ВВТ) и определению технико-эксплуатационных характеристик водных путей, эксплуатационных показателей технических средств речного транспорта, судовым расчетам, диспетчерскому управлению работой флота и др.

Последующий период развития теории организации транспортного процесса связан с работами А.А. Союзова – д-ра техн. наук, профессора, автора научной школы (ГИИВТ), фундаментального учебника по планированию и организации работы речного флота.

Существенный вклад в развитие теории организации транспортного процесса внесли ученые Новосибирского института водного транспорта. Их разработки привнесли существенный вклад в совершенствование перевозок грузов по рекам Сибири и Дальнего Востока. В частности, разработана теория транспортно-технологических систем доставки в труднодоступные районы. Предложена их классификация.

Организация и планы перевозок должны обеспечивать удовлетворение потребителей народного хозяйства и населения в перевозках грузов при высоком их качестве и возможно меньших затратах. Эффективность перевозок зависит от многих факторов, затрудняющих определение критерия оптимальности [4].

Ключевым вопросом выбора наиболее рационального варианта перевозок является оценка эффективности транспортного процесса. Выбор критерия эффективности зависит от

конкретных условий перевозок и решаемой задачи.

Выбранный для конкретных условий задачи критерий оптимальности должен отражать конечные результаты производственной деятельности. Проблема выбора критерия для построения плана состоит в определении показателей, оцениваемых численно и достаточно полно характеризующих изменение затрат общего труда [3].

В период плановой экономики в качестве критерия экономической эффективности при организации перевозочного процесса использовался показатель приведенных затрат

$$З = S + E_H K, \quad (1)$$

где $З$ – приведенные затраты при оказании транспортных услуг при перевозке грузов, руб.;

S – себестоимость перевозок, руб./т (руб./т·км);

K – инвестиции в технические средства, руб./т (руб./т·км);

E_H – нормативный коэффициент эффективности инвестиций (норма дохода на капитал).

Также был принят показатель приведенных затрат, характеризующий полную сумму затрат на производимую продукцию (услуги)

$$З = Э + E_H (K + O), \quad (2)$$

где $Э$ – эксплуатационные расходы, руб.;

O – стоимость товарной массы грузов, находящихся на транспорте, руб.

$$O = \frac{C_{ep} G t_d}{365}; \quad (3)$$

C_{ep} – стоимость одной тонны находящейся на транспорте грузов, руб./т;

G – масса перевозимого груза, т;

t_d – срок доставки груза, сут.

В условиях функционирования рыночной экономики данные показатели актуальны, но при этом необходимо учитывать затраты как транспортного предприятия, так и клиента услуг.

Для оценки конкурентоспособности транспортных услуг нужно учитывать затраты грузоотправителей и получателей за время хранения и доставки грузов, а также издержки, понесенные в результате естественной убыли.

Вследствие выше перечисленных подходов изменилась процедура расчета приведенных затрат.

В методике [1] за критерий эффективности принимаются удельные интегральные издержки

$$З_{инт} = S + E_1 f_{\phi} + E_2 O_{потр} + I_{потр}, \quad (4)$$

где S – удельные текущие издержки (себестоимость доставки грузов), руб./т;

E_1 – норма дохода на капитал по долгосрочным активам, $E_1 \approx 0,10-0,12$;

E_2 – норма дохода на капитал у потребителя $E_2 \approx 0,30-0,35$;

f_{ϕ} – фондоемкость, руб./т;

$O_{потр}$ – «омертвление» грузовой массы у потребителя, руб./т;

$I_{потр}$ – удельные издержки потребителя, руб./т.

Авторы статьи [3] за критерий эффективности принимают рентабельность, то есть уровень коммерческой эффективности хозяйствующего субъекта

$$Re = \frac{\Pi}{И} 100, \quad (5)$$

где Π – прибыль, полученная в результате выполнения северного завоза, руб.;

$И$ – издержки, обусловленные затратами средств в ходе северного завоза, руб.

Себестоимость перевозок является одним из важнейших обобщающих показателей экономической деятельности транспортных предприятий. Она представляет собой удельные текущие (эксплуатационные) расходы, приходящиеся на единицу транспортной работы. Ее измеряют в рублях на тоннокилометр, тонну и др.

На себестоимость перевозок оказывает влияние их объем и дальность, грузоподъемность подвижного состава, удельное сопротивление движению, расход топлива, доля по-

рожного пробега, продолжительность работы в течение навигации и другие факторы.

В [4] расчет себестоимости производят по методу оборота:

$$C_x = (a' + b)(1 + k_p); \quad (6)$$

$$C_m = (a' + 0,7b)(1 + k_p); \quad (7)$$

$$C_{cm} = (a' + 0,05b)(1 + k_p), \quad (8)$$

где C_x, C_m, C_{cm} – себестоимость содержания судна в сутки соответственно на ходу, маневрах, на стоянке, руб. [2];

a' – удельные расходы по содержанию судна без топлива, руб.;

b – удельные расходы на топливо, руб.;

k_p – коэффициент распределяемых расходов, равный отношению распределяемых затрат к прямым.

С помощью рассмотренных показателей можно определить себестоимость перевозок – для самоходных судов:

$$C = \frac{(C_x t_x + C_{cm} t_{cm}) \bar{d}}{Q_s}, \quad (9)$$

где Q_s – количество тонн груза, перевезенного за оборот судна, т;

$\bar{d}$ – средняя доходная ставка за перевозку 1 т груза, руб.;

– для составов

$$C = \left(\frac{C_x^6 t_x^6 + C_m^6 t_m^6 + C_{cm}^6 t_{cm}^6}{Q_s n} + \frac{C^H t_{об}^H}{Q_s} \right) \bar{d}, \quad (10)$$

где n – количество несамоходных барж в составе.

В другом научном труде [2] в качестве критерия принимается показатель себестоимости, рассчитанный по элементам кругового рейса

$$S = \frac{C_x t_x + C_{cm} t_{cm} + C_{xp} t_{xp} + C' t'_{кр} m'}{k_c \sum G l_a}, \quad (11)$$

где k_c – коэффициент, учитывающий снижение провозной способности флота при увеличении кругового рейса за счет уменьшения скорости [1];

C_x, C_{xp} –судо-часовой показатель эксплуатационных расходов по буксиру на ходу при работе двигателя на полных оборотах и сниженных, соответственно, руб./ (суд. · ч);

t_x, t_{xp} – ходовое время при работе двигателя на полных оборотах и сниженных, соответственно, ч;

C_{cm} – судо-часовой показатель эксплуатационных расходов буксира на стоянке, руб./ (суд. · ч);

t_{cm} – продолжительность стоянки буксира, ч;

m' – число несамоходных судов в составе, ед.;

$t'_{кр}$ – продолжительность кругового рейса тоннажа, ч;

$\sum G l_a$ – грузооборот состава, выполненный за круговой рейс, т · км;

k_c – коэффициент

$$k_c = \frac{t_{крп}}{t_{кр}}, \quad (12)$$

$t_{крп}$ – продолжительность кругового рейса при работе двигателя на сниженных оборотах состава, ч;

$t_{кр}$ – продолжительность кругового рейса при работе двигателя на полных оборотах состава, ч.

Себестоимость перевозок также может рассчитываться и другими способами:

– по грузовым теплоходам

$$S = \frac{\Theta}{\Pi}, \quad (13)$$

где Π – провозная способность судна, т·км.
– по потребности во флоте

$$S = \frac{\sum \Phi \sum \mathcal{E}}{A_{\mathcal{E}}}, \quad (14)$$

где $\sum \Phi$ – число буксирных, грузовых самоходных и несамоходных судов, занятых в транспортном процессе, ед.;

$\sum \mathcal{E}$ – сумма годовых эксплуатационных расходов по судну, руб.;

$A_{\mathcal{E}}$ – грузооборот, выполняемый всеми судами, т·км.

– по производительности флота в валовые сутки

$$S = 24 \left(\frac{C_y}{P_{\mathcal{E}}} + \frac{C'_y}{P'_{\mathcal{E}}} \right), \quad (15)$$

где C_y, C'_y – удельные показатели эксплуатационных расходов по буксирным и несамоходным судам, руб./ (сил·ч) и руб./ (т·ч);

$P_{\mathcal{E}}, P'_{\mathcal{E}}$ – производительность в валовые сутки тяги и тоннажа, т·км/(сил·сут.) и т·км/(т·сут.) [1].

– по методу элементарных ставок

$$S = \sum S_{cmi} + b_x I_{\mathcal{E}}, \quad (16)$$

где S_{cmi} – элементарная ставка себестоимости перевозок за время выполнения стояночной операции, руб./т;

b_x – ходовая ставка себестоимости перевозок, руб./т·км;

$I_{\mathcal{E}}$ – расстояние перевозок грузов, км.

Из рассмотренных показателей, взятых за критерий эффективности организации транспортного процесса по доставке грузов на притоки магистральных рек, наилучшим является показатель интегральных издержек, так как он наиболее полно увязывает характеристики элементов транспортного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Болдырев, В.М. Методические рекомендации по выполнению экономических расчетов в дипломных проектах / В.М. Болдырев. -Новосибирск: Изд-во Новосибир. гос. акад. водн. трансп., 2010. -22 с.
- 2 Бунеев, В.М. Эффективность ресурсосберегающих технологий работы буксирных судов и их ремонта / В.М. Бунеев, Е.А. Григорьев. -Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. ун-в. водн. трансп., 2016. -141 с.
- 3 Бунеев, В. М. Научные подходы к обоснованию системы организации «северного завоза» / В.М. Бунеев, М.В. Седунова // -Речной транспорт (XXI век). - 2016. -№3(79). -С. 45-47.
- 4 Давыдов, С.П. Экономика водного транспорта / Давыдов С.П., Селезнева Н.Н. -М.: Транспорт, 1991. - 276 с.

REFERENCES

- 1 Boldyrev V.M. Guideline on the implementation of economic calculations in graduate work [Metodicheskie rekomendatsii po vypolneniyu ekonomicheskikh raschetov v diplomnykh projektakh]. -Novosibirsk. Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. Publ. 2010. 22 p.
- 2 Buneev V.M., Grigor'ev, E.A. Efficiency of resource-saving technologies for the operation and repair of towing vessels [Effektivnost' resursosberegayushchikh tekhnologii raboty buksirnykh sudov i ikh remonta]. Novosibirsk: Siberian St. Univ. of Water Transp. 2016. 141 p.
- 3 Buneev V.M., Sedunova M.V. Scientific approaches to grounding the organization of goods deliveries to the northern territories of Russia [Nauchnye podkhody k obosnovaniyu sistemy organizatsii «severnogo zavoza»]. River transport (XXI century) [Rechnoi transport (XXI vek)]. 2016. No. 3(79). pp. 45-47.
- 4 Davydov S.P., Selezneva N.N. Water transport economics [Ekonomika vodnogo transporta]. Moscow. Transport Publ. 1991. 276 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

себестоимость, эффективность транспортных процессов, критерии эффективности, транспортные услуги

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Синицын Михаил Геннадьевич, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Синицын Геннадий Яковлевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Шарф Сергей Евгеньевич, магистрант ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

РАСЧЁТ ВОДНОГО ПОТОКА РАСПРЕДЕЛЁННОГО ПО РУКАВАМ В МНОГОРУКАВНЫХ УЧАСТКАХ РЕК

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.В. Ботвинков

CALCULATION OF WATER FLOW IN RIVER DISTRIBUTARIES IN HIGHLY BIFURCATED PARTS OF RIVER DELTAS

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Anton V. Botvinkov (Ph.D. of Engineering Sciences, Senior Lecturer of SSUWT)

ABSTRACT: The article demonstrates an example of practical use of the developed method for calculating the distribution of water flow through distributaries in highly bifurcated section of rivers.

Keywords: waterways, water flow distribution

Продemonстрирован пример использования разработанного метода расчёта распределения расходов воды по рукавам в многорукавных участках рек.

При проектировании путевых работ по обеспечению безопасных условий плавания на многорукавных участках рек, необходимо решить задачи по определению расходов воды в каждом из рукавов рассматриваемого участка, как в бытовом, так и в проектном состояниях.

При решении этой задачи составляется исходная система уравнений. Существующие методы, используемые при её составлении, пригодны для работы при известных направлениях течения в отдельных поперечных рукавах называемых перетоками. При этом возможности моделирования для поиска оптимального решения значительно ограничены проблемами однозначного установления направления течения в перетоках.

Предлагаемый метод позволяет найти обоснованное решение задачи распределения расходов воды вне зависимости от количества рукавов и направления течения в рукавах, как в бытовом, так и в проектном состояниях [1].

Метод основан на доработке уравнения неравномерного движения жидкости и использовании аналогии между формулами гидравлики и уравнениями Густава Роберта Кирхгофа для участка цепи [1].

Таким образом, реализации метода сводится к составлению электрической схемы, расчет которой выполняется в программной среде схемотехнического анализ, например MicroCap [1].

Достоверность результатов исследования подтверждается сравнением расчётных и натурных данных с допустимой погрешностью не превышающей 5% [2].

Практическая значимость работы заключается в возможности на основе результатов исследований оперативно произвести расчёт расходов воды на многорукавных участках рек. Внедрение результатов исследования позволит повысить эффективность производства путевых работ для изучения путевых условий.

Результаты работы использованы: при проектировании путевых работ на многорукавных участках рек, в том числе в рамках выполняемой академии научно-исследовательской работы по заказу министерства транспорта РФ.

Ниже представлен расчёт предложенным методом участка реки: перекаат Усть-Ануйский.

На рисунке 1 в виде графа представлен типовой участок реки в котором направление в одном из рукавов неопределенно.

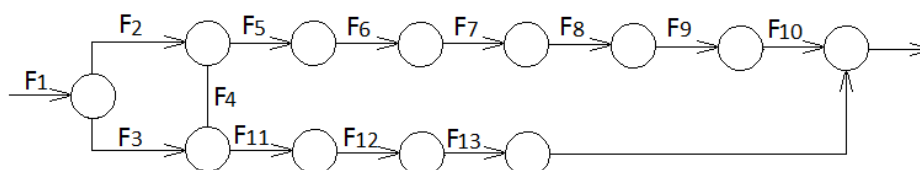


Рисунок 1 – Расчетная схема для перекаата Усть-Ануйский

Для данной расчётной схемы исходные данные принимают следующие значения:

– расход.....3500 м³/с;

- срезка.....3,25 м;
– коэффициент шероховатости.....0,022 м^{1/3} с.

Исходные значения модулей сопротивления на участках и результаты расчёта приведены в таблице.

Расчёт производился согласно разработанным методам [1] в среде схемотехнического анализа Microsar. Который не только находит значения для установленного общего расхода воды, но и позволяет определить динамику изменения расходов воды по рукавам от 0 до заданного общего расхода воды.

Зависимость падения уровней от расходов воды и график уровней свободной поверхности в узлах представлены на рисунке 2.

Таблица – Результаты расчета расходов и падения уровня на участках для переката Усть-Ануйский

Обозначение	Значение модуля сопротивления, м ⁻⁵ ·с ²	Расход, м ³ /с	Падение уровня, м·10 ³
F1	5,31·10 ⁻⁹	3499	65,03
F2	3,22·10 ⁻⁸	2288	168,67
F3	1,16·10 ⁻⁷	1210	170,02
F4	9,87·10 ⁻⁹	368	1,34
F5	6,48·10 ⁻⁹	1920	23,90
F6	6,45·10 ⁻⁹	1920	23,79
F7	4,86·10 ⁻⁹	1920	16,52
F8	2,38·10 ⁻⁹	1920	8,78
F9	3,46·10 ⁻⁹	1920	12,76
F10	9,70·10 ⁻⁹	1920	35,77
F11	1,17·10 ⁻⁸	1579	29,17
F12	1,41·10 ⁻⁸	1579	35,16
F13	2,24·10 ⁻⁸	1579	55,85

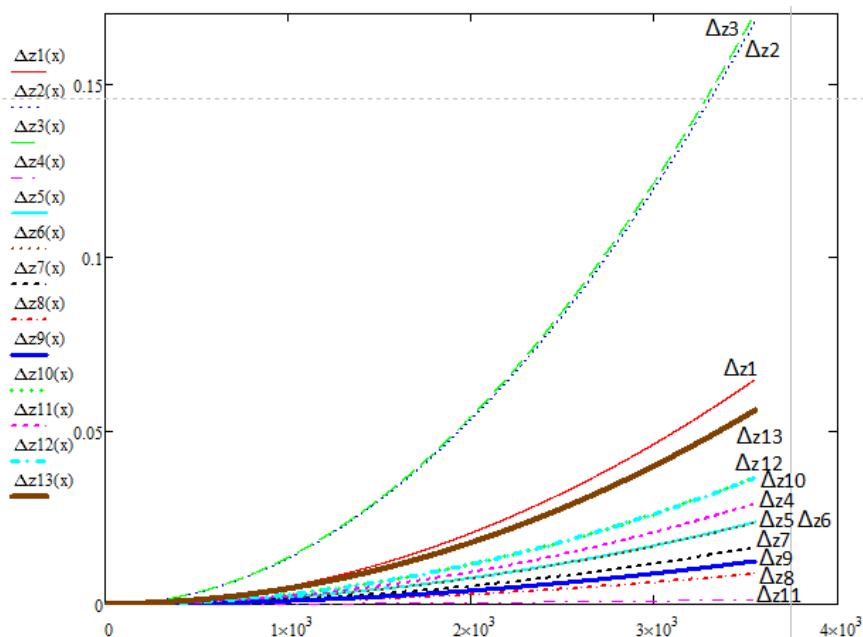


Рисунок 2 – График зависимостей падений уровней Δz на участках от входного расхода

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Голышев Н.В. Методы анализа распределения потоков на сложных участках рек. / Н.В. Голышев, А.Ю. Лапай, А.В. Ботвинков // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2012. -№1. -С. 199-203.
- 2 Ботвинков, А.В. Регулирование гидравлического решения на многорукавных участках рек / А.В. Ботвинков // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2013. -№1. -С. 130-131.

REFERENCES

- 1 Golyshev N.V., Lapai A.Yu., Botvinkov A.V. Methods for analyzing the distribution of flows in complex sections of rivers [Metody analiza raspredeleniya potokov na slozhnykh uchastkakh rek]. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2012. No. 1. pp. 199-203.
- 2 Botvinkov A.V. Regulation of hydraulic solutions at highly bifurcated sections of river deltas [Regulirovanie gidravlichesкого resheniya na mnogorukavnykh uchastkakh rek]. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2013. No. 1. pp. 130-131.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водные пути, распределение водного потока
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Ботвинков Антон Владимирович, канд. техн. наук, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В НОВОСИБИРСКЕ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

М.И. Ворошилова

CURRENT STATE OF HYDRAULIC STRUCTURES AND PROSPECTS OF ITS DEVELOPMENT IN NOVOSIBIRSK
Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia
Marina I. Voroshilova (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

ABSTRACT: The article investigates the current state of large hydraulic structures in Novosibirsk and prospects for its further development.

Keywords: *hydraulic structures, shoreline stabilization, embankment*

Рассмотрено состояние крупных гидротехнических объектов г.Новосибирска и перспективы развития гидротехнического строительства.

Новосибирск, как большой город, расположенный по обоим берегам реки Обь, имеет крупные гидротехнические объекты с достаточно долгой историей. Двумя важнейшими задачами, требующими решения для обеспечения надежного функционирования любого гидроэнергетического объекта, являются:

- проведение комплексных и специализированных обследований для оценки состояния гидротехнических сооружений (ГТС);
- своевременная разработка и осуществление технически обоснованных мероприятий по эксплуатации и ремонту стареющих конструкций ГТС.

Крупнейшими гидротехническими объектами Новосибирска являются следующие: водохранилище; комплексный гидроузел, включающий гидроэлектростанцию (ГЭС), плотины; шлюз, подходные каналы; городская набережная; причалы речного порта.

Самый крупный объект – комплексный гидроузел включающий гидроэлектростанцию, плотины; шлюз, подходные каналы, водохранилище.

Гидротехнические сооружения ГЭС. В 1961 году Новосибирская ГЭС была принята в постоянную эксплуатацию. Длина сооружений напорного фронта составляет 4846 м, из которых 4378,5 м приходится на грунтовые плотины и 422 м – основные бетонные сооружения: здания ГЭС и водосливной плотины. Также в состав напорного фронта входят сооружения судоходного шлюза.

В 2014 году, в соответствии с ФЗ-117 «О безопасности гидротехнических сооружений», была разработана новая Декларация безопасности гидротехнических сооружений Новосибирской ГЭС. Уровень безопасности декларируемых ГТС был признан как «пониженный». Сооружения Новосибирской ГЭС находятся на стадии износа, что может привести к отказам, связанных со старением материалов строительных конструкций, нарушениями технологии производства работ и технического обслуживания.

Негативными факторами, влияющими на зоны разрушений бетонных конструкций, являются:

- воздействия циклов попеременного замораживания и оттаивания насыщенного водой бетона. Такого рода разрушениям подверглись бетонные поверхности в зоне переменного уровня воды;
- снижение уровня нижнего бьефа за счет естественной деформации русла, а также за счет русловых карьерных разработок, еще один негативный фактор, увеличивший зону морозных разрушений;
- кавитационное разрушение (действие на бетон кавитационной эрозии, кавитационные дефекты проявляются ноздреватой, губчатой фактурой поверхности бетона).

На грунтовых плотинах гидроузла имеется просадка верхнего ряда железобетонного крепления верхового откоса правобережной земляной плотины, разрушения плит крепления с обнажением арматуры. В зоне колебания УВБ (уровня верхнего бьефа) происходит поверхностное разрушение плит крепления откоса. На низовом откосе правобережной плоти-

ны, в результате нарушения травяного покрова и сильных дождей, образовались промоины. Отметка гребня плотины, по сравнению с проектным понизилась на 10-30 см, отвод воды через водосливные отверстия в парапете уже становится невозможным.

В настоящее время производится реконструкция бетонных сооружений и замена гидроагрегатов. Новосибирская ГЭС (филиал ПАО «РусГидро»), в рамках реализации «Программы комплексной модернизации», к 2018 году завершила работы по реконструкции водосливной плотины, которые были начаты в 2014 году. В ближайшие пять лет предстоит восстановить бетон здания ГЭС и водосливной плотины в зоне переменного уровня верхнего бьефа. Проведённые работы обеспечили повышение надёжности и безопасности всего Новосибирского гидроузла в целом (рисунок 1).



Рисунок 1 – Водосливная плотина Новосибирской ГЭС

Гидротехнические сооружения шлюза. Единственный в восточной части страны, Новосибирский судоходный шлюз введен в постоянную эксплуатацию в октябре 1961 года. Это железобетонный, однопольный, трехкамерный шлюз II класса с головной системой наполнения, доковой конструкции с разрезным днищем, с полной обратной засыпкой. В состав судоходных сооружений Новосибирского шлюза входят: верхний подходный канал с ограждающими продольной и поперечной (молот) дамбами; шлюз, длиной 553 м; нижний подходный канал, огражденный левобережной и двумя правобережными дамбами.

Серьезную опасность представляла собой эксплуатация самого Новосибирского шлюза в целом, а именно в ходе пропуска судов в навигационный период. Новосибирский шлюз состоит в перечне потенциально опасных объектов, утвержденным Губернатором Новосибирской области и является гидродинамическим объектом 2-го класса опасности.

Реконструкция Новосибирского шлюза проводится в рамках реализации Федеральных целевых программ «Модернизация транспортной системы России (2005-2010 годы)», подпрограмма «Внутренние водные пути» и «Развитие транспортной системы России (2010-2020 годы)» подпрограмма «Внутренний водный транспорт» (рисунок 2).

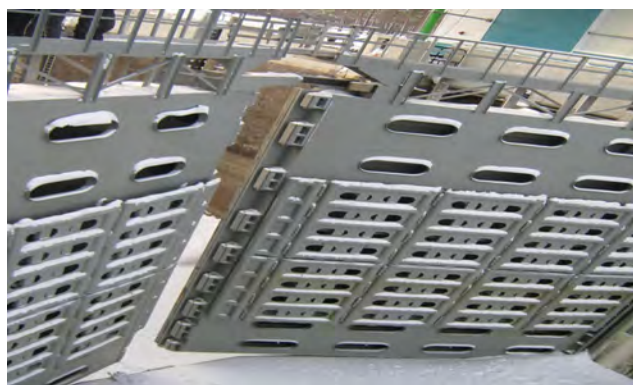


Рисунок 2 – Двухстворчатые ворота Новосибирского шлюза, 2012 год

Первый этап реконструкции сооружений Новосибирского шлюза завершен в 2010 году. В части гидротехнических работ было выполнено следующее: восстановление железобетонных конструкций камер шлюза, реконструкция сквозных температурно-осадочных швов в верхней камере шлюза, восстановление бетонных конструкций верхней головы шлюза, восстановление гидроизоляции бетона верхней головы шлюза и первой средней головы шлюза, реконструкция левобережной дамбы верхнего подходного канала, реконструкция несквозных температурных швов средней камеры, восстановление прочности и водонепроницаемо-

сти поверхности стен камер и голов в зоне переменного уровня, восстановление левого откоса в районе рисбермы нижней головы шлюза, восстановление направляющих пал нижнего подходного канала и верхнего подходного канала, цементация трещин в камерах шлюза, восстановление бетонных конструкций голов шлюза, реконструкция высотных марок и другие работы.

Второй этап ремонта начался в 2015 году. Согласно нормам, зафиксированным в Федеральном законе «О безопасности гидротехнических сооружений» и Декларации безопасности Новосибирского судоходного шлюза, уровень технического состояния шлюза был пониженный по причине усталости металла основных металлоконструкций. До 2017 года произведена замена металлоконструкций верхних аварийно-ремонтных ворот, двустворчатых ворот всех голов шлюза, ремонтных ворот нижней головы шлюза и рабочих затворов водопроводных галерей.

В настоящий момент ведётся реконструкция нижнего подходного канала шлюза. Работы должны быть выполнены к 1 ноября 2020 года. В состав работ входит расчистка судоходного канала, демонтаж бетонных конструкций канала и установка новых.

Но есть и такие объекты, которые в связи с определённой экономической ситуацией утратили своё значение для города.

Новосибирский речной порт. Новосибирский речной порт являлся транспортным предприятием, основным направлением деятельности которого были погрузочно-разгрузочные работы, грузоперевозки, а так же добыча песка в русле р. Обь.

Как и многие порты крупных городов, порт имел грузовые районы, расположенные по обоим берегам реки. Правобережный район оказался в центре города без перспектив на увеличение площадей, ограниченный со всех сторон застройками. Территория речного порта по ширине ограничена крупной автомагистралью и предприятиями (большинство из них ныне не действуют): выше по течению – ТЭЦ-1 (памятник истории регионального значения), с севера – территорией мелькомбината и путями железнодорожной станции «Новосибирск-Главный».

Варианты переноса Новосибирского порта из центральной части города за его пределы рассматривались ещё в 80-х годах прошлого столетия.

Учитывая градостроительную значимость территории, занимаемой речным портом, планировочные и территориальные ограничения по его перспективному развитию, целесообразно было проведение соответствующих мероприятий по планированию передислокации речного порта и обоснованию вариантов его размещения за пределами границы территорий развития города.

В своё время рассматривалось несколько вариантов переноса порта: одним из вариантов переноса территории порта города рассматривают с.Ташару Мошковского района. Существовал вариант размещения речного грузового порта в районе городских очистных сооружений. Планировался также вариант переноса в район посёлка Колывань Новосибирской области.

В последние годы роль порта, как участника перевозок грузов и пассажиров, практически свелась к нулю из-за значительного сокращения объемов речных перевозок. Предприятие оказалось в центре города на привлекательном, с экономической точки зрения, земельном участке.

21 февраля 2018 г. совет директоров ОАО «Новосибирский речной порт» одобрил сделку по продаже практически всего имущества порта. К продаже готовятся земельный участок общей площадью 24 156 м², нежилые здания, железнодорожные пути, а также внутриплощадочные подкрановые пути порта. В настоящее время дальнейшая судьба бывшего речного порта Новосибирска неизвестна.

Но известно, что состояние причальных стенок порта в последние годы пришло в плачевное состояние – вышли из строя дренажные устройства, наблюдается сильная фильтрация, разрушение бетона. Во всяком случае, при любой дальнейшей эксплуатации причалов порта, необходимо проведение серьёзной реконструкции причальных стенок, что давно требуется.

Новосибирской ремонтно-эксплуатационная база флота. Гидротехнические сооружения Новосибирской РЭБ флота в Яренском затоне (в последние годы – ООО «Новосибирский судоремонтный завод»): слип-гребенчатый Г-300 (1954 год постройки), док-кессон, док

секционный, причальная стенка эстакадного типа (1990 год), – выполняли свои функции достаточно долгое время. К 2018 году эти сооружения прекратили действовать. Слип разобран – на этой территории строится жилой район.

Развитие гидротехнического строительства. Расширение районов города предполагает активное использование реки Оби, главной водной артерии города. На прибрежных территориях предусмотрена и достаточно интенсивно осуществляется жилая застройка города: малоэтажная и многоэтажная. Это увеличит нагрузку на городской транспорт, в связи с чем, можно использовать речной транспорт в летний период времени. Общая длина набережных должна увеличиться в несколько раз. В связи с этим, вполне возможно, возрастёт и значимость водного транспорта. Заметим, что такой крупный город, как Новосибирск, не имеет в настоящее время Речного вокзала.

Необходимо строительство системы дамб и набережных на всем протяжении реки Оби в границах города с устройством системы ливневой канализации и очистных сооружений. Это позволит существенным образом снизить уровень загрязнения водного бассейна.

Именно в связи с тем, что город активно развивает жилищное строительство в прибрежной полосе Оби, получило новое дыхание и гидротехническое строительство.

Так, в северной части правобережья предполагается, в скором времени, включение в границы города всего массива Заельцовского бора и части акватории р. Обь с островами, и дальнейшее функционирование этих территорий в качестве зон рекреационного использования как единой экосистемы. В восточной части правобережья развивается микрорайон «Европейский берег», непосредственно выходящий на Обь. В юго-западной части левобережья формируется полоса застройки вдоль направления Оби из взаимосвязанных зон жилой, общественной и производственной застройки. Возведение ледового дворца спорта к молодежному чемпионату мира 2023 г. в г.Новосибирске предполагает строительство комплекса рядом с метро-мостом. Подготовка площадки на Горской в пойме Оби площадью 12 га потребует устройства серьёзных гидротехнических сооружений, устройства набережной, расширения транспортной сети и завершения строительства станции метро «Спортивная».

В западной части левобережья за счёт присоединения прибрежных участков земли должна быть сформирована набережная реки Оби в связи с освоением жилых районов «Затон» и «Лесоперевалка», «Ясный берег» и других районов с учётом строительства перспективного Ельцовского моста.

В районе Затона продолжается крепление берега габионными конструкциями (рисунок 3). Реконструкция участков прибрежной территории районов левобережья, должна начинаться с масштабных работ по берегоукреплению территории. Можно привести пример берегоукрепления района расположения Аквапарка на левом берегу (рисунок 4).



Рисунок 3 – Укрепление берега габионами в районе Затона



Рисунок 4 – Берегоукрепление в районе Аквапарка

Малые водные объекты в городе также предполагается использовать. Рядом с озёрами, расположенными в черте города также построены новые жилые комплексы: правобережье – микрорайон «Олимпийской Славы» (озеро Каменка), жилой комплекс «Эволюция» (озеро Жемчужина Сибири), жилой комплекс «Серебряное озеро»; левобережье – микрорайон Новомарусино (озеро Ленково), микрорайон «Приозерный». Так как жилые дома расположены рядом с водоёмами, необходимо будет устройство для жителей рекреационных зон с пляжами, то есть увеличение количества цивилизованных зон отдыха для горожан. Наиболее

перспективным решением проблемы нехватки пляжей является создание их искусственным путем. Необходимо помнить о двоякой роли пляжа – он сооружается не только для отдыха, но и в целях берегозащиты. Достоинством таких пляжей является их природоохранная роль, способствующая сохранению земельных ресурсов.

Выход жилых районов на водные объекты предполагает, естественно, обустройство берегов последних. Очевидно, что преимущественными гидротехническими сооружениями на ближайшие годы станут берегоукрепительные. В зависимости от места расположения, выполняемых функций, геологических факторов, – это могут быть гидротехнические сооружения различных конструкций и различного поперечного профиля – вертикальные, откосные, полуоткосные. В черте города городские набережные вертикального профиля, например, с лестницами в переменных уровнях, смотрятся особенно эстетично.

Можно говорить о достаточно хорошем будущем для развития гидротехнического строительства в Новосибирске. Город расположен по обоим берегам крупнейшей реки. Использование этого природного ресурса всегда будет сопровождаться строительством гидротехнических сооружений, предназначенных как для использования водного объекта, охраны, так и предотвращения его возможного вредного воздействия на другие природные факторы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Информационный портал Новосибирска. – Режим доступа: http://novosibirsk.obzorgoroda.su/category/gidrotekhnicheskoe_stroitelstvo. -09.04.2018.
- 2 Современные технологии строительства. – Режим доступа: <http://novosibirsk.st-stroy.ru/otraslevye-resheniya/gidrotekhnicheskoe-stroitelstvo>. -09.04.2018.
- 3 Параметры и этапы развития функционально-планировочной структуры города // Департамент строительства и архитектуры мэрии города Новосибирска. -Режим доступа: <http://dsa.novo-sibirsk.ru/ru/site/1602.html>. -09.04.2018.

REFERENCES

- 1 Novosibirsk information portal [*Informatsionnyi portal Novosibirsk*]. URL: http://novosibirsk.obzorgoroda.su/category/gidrotekhnicheskoe_stroitelstvo. -09 Apr. 2018.
- 2 Actual construction technologies [*Sovremennye tekhnologii stroitel'stva*]. URL: <http://novosibirsk.st-stroy.ru/otraslevye-resheniya/gidrotekhnicheskoe-stroitelstvo>. -09 Apr. 2018.
- 3 Parameters and stages of development of the city's functional and planning structure [*Parametry i etapy razvitiya funktsional'no-planirovochnoi struktury goroda*]. Department of architecture and civil engineering of Novosibirsk city administration [*Departament stroitel'stva i arkhitektury merii goroda Novosibirsk*]. URL: <http://dsa.novo-sibirsk.ru/ru/site/1602.html>. -09 Apr. 2018.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидротехнические сооружения, берегоукрепление, набережная
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Ворошилова Марина Игоревна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ ПРОРЕЗЕЙ НА НОВОСИБИРСКОМ ПЛЕСЕ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.А. Калашников

ESTIMATION OF SUSTAINABILITY OF DREDGED CHANNEL IN NOVOSIBIRSK RIVER REACH

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia
Arsenii A. Kalashnikov (Graduate student of SSUWT)

ABSTRACT: Authors performed an assessment of dredging channel sustainability along the Novosibirsk – Tom' estuary river reach.

Keywords: dredged channel sustainability, sediment accumulation

Выполнена оценка устойчивости дноуглубительных прорезей по плесу Новосибирск-устье Томи.

Сложившиеся сейчас условия производства путевых работ выдвигают задачу по сокращению объемов и повторности производства дноуглубительных работ в разряд актуальных.

Одним из путей снижения объемов дноуглубительных работ и повторности их проведения будет определение оптимальной глубины разработки прорези. Для достижения этой цели предпринята попытка найти региональную связь глубины в прорези с ее заносимостью применительно к специфическими особенностями реки Обь на Новосибирском плесе.

Создание именно региональных методик является весьма перспективным направлением, позволяющим решать конкретные задачи для рассматриваемого региона. Такое направление развития научных исследований по изучению устойчивости судоходных трасс рекомендуется К.В. Гришаниным [1] и получило развитие в работе Б.Ф. Сنيщенко [2].

Для разработки методики определения изменений судоходной глубины в прорези были

обработаны натурные данные по перекатам, разрабатываемых на плесе Новосибирск-устье Томи.

Для каждого переката собирались следующие данные:

- глубина разработки от проектного уровня;
- ширина и длина прорези;
- объем извлекаемого грунта;
- изменение минимальной глубины в пределах прорези после окончания работ.

В результате обработки натурных данных были получены зависимости изменения глубины по оси прорези от времени после ее разработки. На рисунке 1 по оси ординат откладывалась относительная глубина

$$T_{\text{отн}} = \frac{T}{T_g}, \quad (1)$$

где T – минимальная глубина по оси прорези от проектного уровня, м;

T_g – гарантированная глубина, м.

По оси абсцисс откладывалось относительное время

$$t_{\text{отн}} = \frac{t}{24}, \quad (2)$$

где t – время после разработки прорези, ч.

Потеря глубины в прорези зависит от места расположения прорези в русле, планового очертания русла, геометрических размеров прорези в плане, величины переглубления на заносимость, гидрологических особенностей данного года.

Очевидно, что изменение судоходной глубины на участке графика от 0,417 до 1,5 имеет линейную зависимость от времени разработки, поэтому

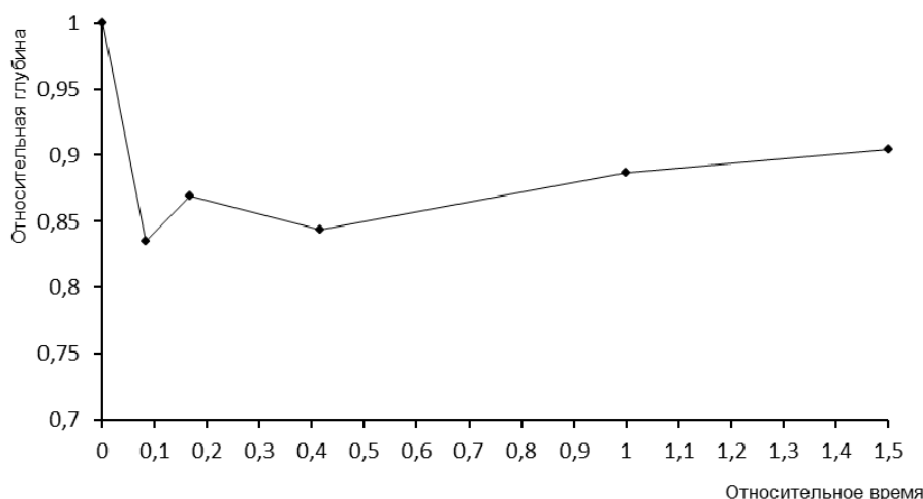


Рисунок 1 – Изменение судоходной глубины по оси прорези по данным натурных наблюдений

для удобства подбора аппроксимирующей функции проводилось разбиение на два участка:

- участок №1 – 0-10 ч после разработки прорези;
- участок №2 – 10-36 ч после разработки прорези.

В результате аппроксимации получены следующие зависимости:

– для участка №1

$$T_{\text{отн}} = -38,25 t_{\text{отн}}^3 + 23,96 t_{\text{отн}}^2 - 3,72 t_{\text{отн}} + 1, \quad (3)$$

– для участка №2

$$T_{\text{отн}} = 0,056 t_{\text{отн}} + 0,82. \quad (4)$$

Графики аппроксимирующих зависимостей представлены на рисунке 2.

Для оценки точности решения по полученным зависимостям выполнено сравнение расчетных и натурных данных (рисунок 3) и было определено среднеквадратичное отклонения

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (T_{\text{отн}}^{\text{н}} - T_{\text{отн}}^{\text{р}})^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,00013}{6}} = 0,005. \quad (5)$$

где $T_{\text{отн}}^{\text{н}}$, $T_{\text{отн}}^{\text{р}}$ – соответственно, натурные и расчетные значения относительной глубины;

n – количество экспериментальных точек.

Данная методика позволяет оценивать заносимость дноуглубительных прорезей после окончания их разработки, при необходимости назначать повторные работы, тем самым оп-

тимизировать проведение дноуглубительных работ. При дальнейшем совершенствовании описанной методики станет возможным определять выгоднейшее соотношение между объемами извлекаемого грунта и повторностью проведения работ на перекате.

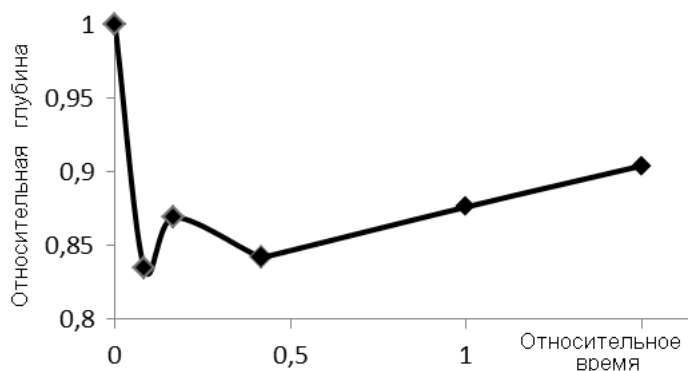


Рисунок 2 – График аппроксимирующей функции на участках №1 и №2

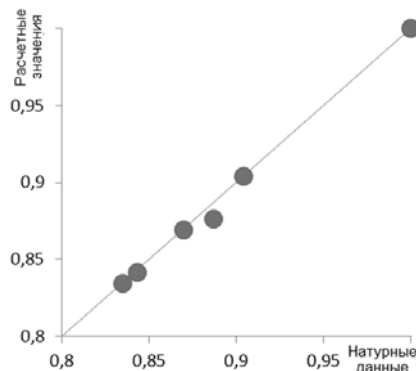


Рисунок 3 – Сопоставление расчетных значений с натурными данными

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гришанин, К.В. Динамика русловых потоков / К.В. Гришанин. -Л.: Гидрометеиздат, 1979. -312 с.
- 2 Снисченко Б.Ф. Исследование процесса заносимости судоходных прорезей на реках. Автореферат. дис. ... канд. техн. наук / Снисченко Борис Фалалеевич. -Л., 1964. -18 с.

REFERENCES

- 1 Grishanin K.V. Flow dynamics in river channels [Dinamika ruslovyykh potokov]. Leningrad. Gidrometeoizdat Publ. 1979. 312 p.
- 2 Snishchenko B.F. Investigation of the navigable dredged channel sedimentation on rivers [Issledovanie protsessa zanosimosti sudokhodnykh prorezei na rekakh] Leningrad. Leningrad Inst. of Water Transp. Engineers Publ. 1964. 18 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: устойчивость судоходных прорезей, заносимость
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Калашников Арсений Александрович, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

АНАЛИЗ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Ю.И. Пивон

ANALYSIS OF TRANSPORT HYDRAULIC STRUCTURES INTEGRITY LEVEL IN THE SIBERIAN REGION

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia
 Yuri I. Pivon (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

ABSTRACT: Article considers the questions of determining the reliability of hydraulic structures and methods of reliability prediction, Authors revealed the most significant factors affecting the reliability of port hydraulic structures.

Keywords: transport hydraulic structures, reliability, reliability factors

Рассмотрены вопросы определения надёжности сооружений, методы их прогнозирования, выявлены наиболее значимые факторы, влияющие на надёжность портовых гидротехнических сооружений.

Портовые гидротехнические сооружения (ГТС) широко применяются в системе транспортной инфраструктуры, как элементы причальных перегрузочных комплексов.

Большинство конструкций портовых ГТС были возведены в 1970-1980 гг. прошлого века, и, в настоящее время, имеют значительную степень физического износа.

Отличительной особенностью эксплуатации портовых сооружений на территории Сибири является то, что эксплуатируются в разных климатических условиях, в том числе, и особо суровых, что отражается на их функциональном состоянии.

Например, большое количество конструкций испытывают годовые перепады температур более 100 °С. Такие жесткие условия эксплуатации не могут не сказываться и на специфическом подходе при проектировании данного вида конструкций.

Практика показывает, что учесть все многообразие факторов, действующих на соору-

жение, задача необычайно сложная [1].

Все это является показателем отсутствия равнонадежности конструкции в целом и отдельных ее элементов, что значительно увеличивает стоимость проекта.

В качестве примера можно привести тот факт, что из более пятидесяти обследованных с участием автора конструкций практически у всех надежность отдельных элементов отличалась довольно значительно, особенно это проявлялось после 15-20 лет эксплуатации сооружений [2].

По мнению автора в первую очередь, на неравномерность физического износа наиболее сильно влияют:

- ежегодные перепады температуры воздуха и воды в зоне районирования причального перегрузочного комплекса;
- локальные деформации лицевой части шпунта от удара судов при отсутствии или повреждении отбойных устройств;
- превышение допускаемых нагрузок при складировании грузов в прикормонной зоне причала;
- ориентация портового перегрузочного комплекса относительно оси север - юг (особенно сильно надежность лицевой части сооружения, выполненного из металлического шпунта, снижается под влиянием солнечной радиации при южной и юго-западной ориентации порта).

Долгое время проблема надежности сводилась преимущественно к вопросам безаварийности и соответственно решалась путем использования высоких запасов прочности, что приводило к увеличению массивности конструкции объекта и его стоимости [3].

Следующим этапом исследований было определение эксплуатационной надежности при помощи двух методов – статистических испытаний (метод Монте-Карло) и метода линеаризации функций [2, 4].

Необходимость использования первого метода объясняется тем, что изгибающий момент в шпунте причального перегрузочного комплекса определяется графоаналитическим методом Блюма-Ломейера, в котором случайными параметрами являются нагрузка на причале от складированных грузов, железнодорожного транспорта и перегрузочных механизмов q , угол внутреннего трения грунтов засыпки и основания φ , сцепление грунта основания c , удельный вес γ . Чисто аналитическое решение задачи по методу Блюма-Ломейера затруднено в связи с необходимостью определения коэффициента корреляции указанных случайных параметров. Что же касается метода Монте-Карло, то коэффициент корреляции автоматически учитывается в каждом испытании при расчете конструкции.

Таким образом, методом статистических испытаний мы получаем параметры распределения нагрузочных моментов в шпунте, то есть моментов от внешних сил.

Распределение несущего момента шпунта M_r в методе линеаризации случайной функции

$$M_r = W \sigma_m, \quad (1)$$

где W – момент сопротивления шпунта, см^3 ;
 σ_m – предел текучести стали на изгиб, кН/см^2 .

Также справедливо

$$\bar{M}_r = \bar{W} \bar{\sigma}_m, \quad (2)$$

где $\bar{M}_r$ – математическое ожидание допускаемого момента;
 $\bar{W}$ – математическое ожидание момента сопротивления;
 $\bar{\sigma}_m$ – математическое ожидание предела текучести стали.

Статистические параметры функции распределения наиболее удобно определять по методу линеаризации.

Известно, что любая непрерывная дифференцируемая функция в достаточно узком диапазоне изменения аргументов может быть приближенно заменена линейной или линеаризована. Ошибки, возникающие при этом, тем меньше, чем уже диапазон границ изменения аргумента и тем ближе функция к линейной. Конечно, при этом получаются лишь приближенные решения задачи, но в большинстве случаев этой точности бывает достаточно.

В рассматриваемом случае дисперсия случайной функции M_r составит

$$D_m = \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 D_{xi}, \quad (3)$$

Так как в нашем случае геометрические характеристики сечения шпунта W и предел прочности стали σ_m не взаимосвязаны, то, следовательно, формула межгрупповой дисперсии выглядит

$$D_m = \bar{\sigma}_m^2 D_w + \bar{W}^2 D_{\sigma m}, \quad (4)$$

где D_w – дисперсия момента сопротивления;

$D_{\sigma m}$ – дисперсия предела прочности.

Согласно [5] вероятность безопасной работы шпунта составляет

$$P = 1 - \Phi \left(\frac{\bar{M}_{изз} - \bar{M}_r}{\sqrt{D_{изз} + D_r}} \right), \quad (5)$$

где $\Phi(\dots)$ – вероятностная функция Гаусса;

$\bar{M}_{изз}$ – математическое ожидание изгибающего момента в шпунте от воздействия внешних сил, кН·м;

$\bar{M}_r$ – загрузочный момент (допускаемый изгибающий момент);

$D_{изз}$ – дисперсия случайных величин изгибающего момента;

D_r – дисперсия случайных величин загрузочного момента.

Для определения прогноза срока продолжительности службы сооружения, необходимо остаточные значения толщины шпунта увязать с временным фактором.

Такой подход обеспечит выявление фактической надежности в любой i -ый период времени и позволит составить прогноз дальнейшей работы конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Пивон, Ю.И. Итоги работы по выявлению резервов несущей способности причальных набережных портов Ленского речного пароходства / Ю.И. Пивон // Высокоэффективное использование резервов пропускной способности существующих транспортных гидротехнических сооружений: сб. науч. тр. -Новосибирск: Изд-во Новосиб инст. инж. водн. трансп., 1987. -С. 11-15.

2 Пивон, Ю.И. Моральный и физический износ гидротехнических сооружений сибирских портов / Ю.И. Пивон // Вопросы технической эксплуатации и оценки надежности гидротехнических сооружений: сб. науч. тр. -Новосибирск: Изд-во Новосиб инст. инж. водн. трансп., 1990. -С. 50-56.

3 Постановление Правительства РФ от 12.08.2010 г. №623 «Об утверждении технического регламента о безопасности объектов внутреннего водного транспорта» (вступ. в силу с 12.02.2012 г.) // СПС КонсультантПлюс.

4 Пивон Ю.И. Эксплуатационная надежность портовых перегрузочных комплексов на территории Сибири: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.22.19 / Пивон Юрий Иванович. -Новосибирск, 2000. -17 с.

5 Бик, Ю.И. Определение остаточного ресурса подпорных сооружений в виде металлических бол-верков / Ю.И. Бик, Ю.И. Пивон // -Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. -2000. -№12. -С. 21-25.

1 Pivon Yu.I. Analysis results of diagnosis the bearing capacity reserves of the quay embankments in Lena River Shipping Company ports [Itogi raboty po vyyavleniyu rezervov nesushchei sposobnosti prichal'nykh naberezhnykh portov Lenskogo rechnogo parokhodstva]. Highly efficient use of reserves of capacity of existing hydraulic structures [Vysokoeffektivnoe ispol'zovanie rezervov propusknoi sposobnosti sushchestvuyushchikh transportnykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii]. Novosibirsk. Novosibirsk Inst. of Water Transp. Engineers Publ. 1987. pp. 11-15.

2 Pivon Yu.I. Obsolescence and physical wear of hydrotechnical structures of the Siberian ports [Moral'nyi i fizicheskii iznos gidrotekhnicheskikh sooruzhenii sibirskikh portov]. Issues of technical operation and reliability assessment of hydraulic structures [Voprosy tekhnicheskoi ekspluatatsii i otsenki nadezhnosti gidrotekhnicheskikh sooruzhenii]. Novosibirsk. Novosibirsk Inst. of Water Transp. Engineers Publ. 1990. pp. 50-56.

3 Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 12.08.2010. No. 623 On the safety of inland waterway facilities [Ob utverzhdenii tekhnicheskogo reglamenta o bezopasnosti ob'ektov vnutrennego vodnogo transporta (vstup. v silu s 12.02.2012)]. "Consultant-Plus" law reference system.

4 Pivon Yu.I. Operational reliability of port handling terminals in the territory of Siberia [Ekspluatatsionnaya nadezhnost' portovykh peregruzochnykh kompleksov na territorii Sibiri]. Novosibirsk. Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. Publ. 2000. 17 p.

5 Bik, Yu.I., Pivon Yu.I. Determination of the residual resource of retaining structures of quays with steel sheet piling [Opredelenie ostatocnogo resursa podpornykh sooruzhenii v vide metallicheskh bol'verkov]. Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo i arkhitektura. 2000. No. 12. pp. 21-25.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспортные гидротехнические сооружения, надежность, факторы надежности
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Пивон Юрий Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ОЦЕНКА ОДНОВРЕМЕННОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ КООРДИНАТ И СКОРОСТИ В СУДОВОМ GPS/ГЛОНАСС ПРИЁМНИКЕ SGN-500

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

Ю.А. Комаровский

ESTIMATION OF SIMULTANEOUS CALCULATION OF THE COORDINATES AND SPEED IN MARINE SGN-500 GPS/GLONASS RECEIVER

Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoi (MSU named after adm. G.I. Nevelskoi)
50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia

Yurii A. Komarovskiy (Ph.D. of Engineering Sciences, Expert on technical issues of MSU named after adm. G.I. Nevelskoi)

ABSTRACT: This paper substantiates a method which makes it possible to estimate synchronism of calculation of coordinates and speed in marine navigation equipment. It is based on the maximization of the approximating value of the correlation coefficients while minimizing the non-synchronization of the calculations. The method is tested on experimental data obtained from the GPS/GLONASS receiver SGN-500. It was found that the receiver calculates the vessel speed earlier than the coordinates by 0.58 seconds. It is shown that the detected phenomenon will manifest itself negatively at high vessel speeds.

Keywords: GPS/GLONASS-receiver, Speed Over Ground, coordinate increment, correlation moment, correlation coefficient

Обоснован метод, с помощью которого можно оценить синхронность вычисления координат и скорости в судовых спутниковых приёмниках. В его основе лежит максимизация аппроксимирующей значения коэффициентов корреляции при минимизации несинхронности вычислений. Метод апробирован на массивах экспериментальных, полученных от судового GPS/Глонасс-приёмника SGN-500. Обнаружено, что приёмник вычисляет скорость судна раньше координат судна на 0,58 секунды. Показано, что обнаруженное явление будет отрицательно проявляться на высоких скоростях судов.

Современные судовые навигационные спутниковые приёмники в подавляющем своём большинстве обновляют информацию на своём экране дискретно через каждую секунду. На внешние устройства информация в формате NMEA транслируется приёмником также дискретно через 1 с. Исключение составляют величины путевого угла – COG (Course Over Ground) и истинного курса – HDG (Heading), передаваемые в авторулевой с иными периодами повторения [1]. Следовательно, в течение времени между смежными секундными отсчётами координаты судна, направление вектора абсолютной скорости судна COG и модуль этого вектора SOG (Speed Over Ground) остаются на дисплее неизменными, несмотря даже на высокие скорости судна. Этот факт затрудняет ведение счисления на судах с динамическими принципами поддержания, а также на транспортных средствах с воздухоопорными гусеницами, так как расстояния, рассчитываемые по ежесекундным приращениям координат (ПОК), не будут равны расстояниям, рассчитываемым по ежесекундным отсчётам модуля абсолютной скорости SOG.

Известно, что геодезические координаты в судовых приёмниках спутниковых радионавигационных систем (СРНС) вычисляются на основе импульсных измерений сигналов от спутников. Параметры вектора абсолютной скорости (COG и SOG) вычисляются по результатам доплеровских измерений несущих частот спутников [2]. Таким образом, координаты и скорость определяются каналам с различными физическими принципами измерения. Следовательно, вполне возможно, что как координаты, так и параметры вектора абсолютной скорости могут быть рассчитаны в несовпадающие моменты времени односекундного интервала, но не в момент очередного секундного отсчёта, на который происходит вывод этой информации. Обратимся за пояснениями к рисунку 1.

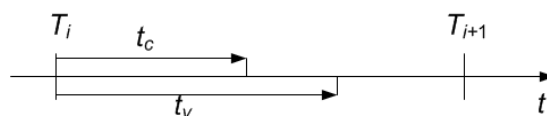


Рисунок 1 – Понятие одновременности вычисления информации в судовом СРНС-приёмнике

На рисунке 1 через T_i и T_{i+1} обозначены моменты начала и конца очередного односекундного интервала соответственно. Спустя время t_c от начала односекундного интервала в

приёмнике вычисляются координаты судна, которые обновляются в момент времени T_{i+1} . Для их определения измеряются псевдодалности до всех спутников рабочего созвездия. Измерения происходят методом максимизации корреляционных функций, из чего вытекает предположение о случайном характере t_c , с неизвестной плотностью распределения [3]. Через время t_v происходит вычисления COG и SOG, которые также обновляются в момент времени T_{i+1} . Вследствие неизбежных флуктуаций сигналов спутников время t_v также будет обладать свойствами случайной величины. Поэтому признаком одновременности будет равенство точечных оценок математических ожиданий случайных величин t_v и t_c . Отсюда возникает необходимость разработки способа вычисления разности d в секундах, $d = t_v - t_c$, для судового СРНС-приёмника.

Обозначим через x случайную величину, представляющую собой проходимое судном расстояние в метрах за одну секунду. Это расстояние рассчитывается по приращениям координат за одну секунду и выводится на экран i -ый секундный отсчёт

$$x_i = \sqrt{\Delta\varphi_i^2 + \Delta\lambda_i^2},$$

где $\Delta\varphi_i, \Delta\lambda_i$ – выраженные в метрах разности широт и долгот соответственно.

Разность широт, выраженная в метрах, вычисляется следующим образом

$$\Delta\varphi_i = (\varphi_i - \varphi_{i-1})I_m,$$

где φ_i, φ_{i-1} – выведенные на экран или на внешнее устройство значения обсервованных геодезических широт на отсчёты времени T_i и T_{i-1} соответственно;

$\varphi_i - \varphi_{i-1}$ – разность широт в угловых минутах;

I_m – длина в метрах дуги одной угловой минуты меридиана

$$I_m = \frac{a(1-e^2)\text{arc}1'}{\sqrt{(1-e^2\sin^2\varphi^\circ)^3}};$$

a – размер в метрах большей полуоси референц-эллипсоида;

e – первый эксцентриситет референц-эллипсоида;

φ° – обсервованная на момент времени T_i широта, выраженная в градусной мере.

Аналогично вычисляется разность долгот в метрах

$$\Delta\lambda_i = (\lambda_i - \lambda_{i-1})I_p,$$

где I_p – длина в метрах дуги одной угловой минуты параллели

$$I_p = \frac{a\cos\varphi^\circ}{\sqrt{1-e^2\sin^2\varphi^\circ}}\text{arc}1'.$$

Обозначим через y проходимое судном расстояние в метрах за одну секунду, исходя из величины SOG в узлах, выводимое на экран в i -ый секундный отсчёт $y_i = 0,514444\text{SOG}_i$.



Рисунок 2 – Графики изменения пройденных за 1 секунду расстояний

Сомнения в одновременности вычисления информации возрастают при эксплуатации мультисистемных СРНС-приёмников. Примером такой аппаратуры служит GPS/Глонасс приёмник SGN-500, изготавливаемый компанией Samsung в Республике Корея. Поэтому в

данной работе способ определения величины d иллюстрируется на основе экспериментальных наблюдений, полученных автором 8 июля 2016 г. во время рейса Зарубино-Владивосток патрульного судна Дальневосточного Управления Госморнадзора. Обсервованные координаты определялись приёмником SGN-500 в системе геодезических координат WGS-84. Данные с экрана дисплея фиксировались цифровой камерой и затем оцифровывались вручную. На рисунке 2 в качестве примера приведены графики изменения пройденных за одну секунду расстояний, рассчитанных по приращениям координат (тонкая линия) и по абсолютной скорости (жирная линия).

Анализ рисунка 2 позволяет сделать заключение о большей дисперсии случайной величины x . Поэтому, в частности, в задачах определения поправок лага с помощью судовых СРНС-приёмников проходимые расстояния на галсах следует рассчитывать по SOG.

Так как случайные величины x и y отражают движение одного и того же судна, то между ними должна существовать статистическая связь. Её принято оценивать вторым смешанным центрированным моментом, называемым корреляционным моментом. Обозначим его через K_{xy}

$$K_{xy} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)(y - m_y)f(x,y)dx dy ,$$

где m_x, m_y – математические ожидания случайных величин x и y ;

$f(x,y)$ – совместная плотность распределения этих случайных величин.

Если величина K_{xy} становится равной 0, то статистическая связь между случайными величинами отсутствует. О существовании статистической зависимости между x и y можно судить по рисунку 3. На нём видно, что с увеличением одной случайной величины растёт другая.



Рисунок 3 – Корреляционная зависимость случайных величин x и y

Если нормировать корреляционный момент произведением средних квадратических отклонений σ_x и σ_y случайных величин x и y , то получим коэффициент корреляции r_{xy}

$$r_{xy} = K_{xy} / (\sigma_x \sigma_y) .$$

В нашем случае коэффициент корреляции будет наиболее эффективным критерием оценки статистической зависимости x и y , так как она на рисунке 3 близка к линейной [4]. Если $d = 0$, то величина будет максимальной. Следовательно, для вычисления d , присутствующей в данном СРНС-приёмнике, необходимо получить такой временной сдвиг последовательностей случайных величин x и y друг относительно друга, чтобы он соответствовал максимуму коэффициента корреляции.

Для достижения поставленной цели массив наблюдений на переходе Зарубино-Владивосток был разбит на два этапа. Первый этап соответствовал движению судна в условиях воздействия идущей с юга зыби, ветровой волны и переменных поверхностных течений. На первом этапе зарегистрировано 1550 значений координат SOG и COG. Второй этап проходил вдоль островов, прикрывавших от зыби и уменьшавших ветровую волну. На втором этапе зарегистрировано 1536 значений координат SOG и COG. Анализ данных проводился раздельно по каждому этапу перехода.

Далее последовательность случайных величин y посекундно сдвигалась относительно последовательности x и на каждом сдвиге вычислялись коэффициенты корреляции. Результаты вычислений представлены на графиках рисунка 4. На нём верхний график соответствует первому этапу перехода, а нижний – второму этапу.

На рисунке 4 можно видеть соответствие максимумов коэффициентов корреляции минимальному сдвигу последовательностей. Большая дисперсия SOG при плавании судна на первом этапе перехода приводит к большим значениям коэффициента корреляции r_{xy} при тех же значениях сдвигов, что и при плавании в более спокойном втором этапе.

Чтобы вычислить искомую величину сдвига d , необходимо получить аналитический вид зависимости $r_{xy}(d)$. Для этого воспользуемся методами регрессионного анализа с целью расчёта коэффициентов аппроксимирующего полинома [5]. Анализ результатов предварительных расчётов позволил сделать следующие выводы: в качестве аппроксимирующей функции целесообразно принять полином второй степени вида $r_{xy} = ad^2 + bd + c$, для вычисления коэффициентов a, b, c достаточно ограничиться четырьмя значениями коэффициентов корреляции вблизи их максимумов. На рисунке 5 показан график аппроксимирующего полинома, проходящего через четыре значения r_{xy} , расположенных вблизи нулевого сдвига при плавании судна на втором этапе. Приравняв нулю первую производную аппроксимирующего полинома, можно получить искомое значение d .

Расчёты показали, что в СРНС-приёмнике SGN-500 моменты вычисления координат отстают от моментов вычисления SOG в каждом односекундном интервале на 0,58 с на первом этапе перехода и на 0,51 с на втором этапе.

В заключении следует остановиться на следующих результатах:

- Разработан и апробирован метод анализа одновременности вычисления координат и элементов вектора абсолютной скорости судна в СРНС-приёмнике.
- Расчёты показали, что в двухсистемном СРНС-приёмнике SGN-500 величина скорости судна вычисляется раньше координат на 0,58 с в каждом односекундном интервале обновления информации.
- Показано, что дисперсия случайных погрешностей вычисления мгновенной скорости судна по приращениям координат значительно превышает дисперсию модуля абсолютной скорости (SOG).
- Необходимо увеличить частоту обновления информации о координатах и скорости судна, выводимую на внешние устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 NMEA 0183. Standard For Interfacing Marine Electronic Devices. Version 3.00. National Marine Electronics Association, July, 2000. 115 p.
- 2 Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: монография /

REFERENCES

- 1 NMEA 0183. Standard For Interfacing Marine Electronic Devices. Version 3.00. National Marine Electronics Association, July, 2000. 115 p.
- 2 Antonovich K.M. The use of satellite navigation systems in geodesy [Ispol'zovanie sputnikovyykh radionavigatsionnykh sistem v geode-

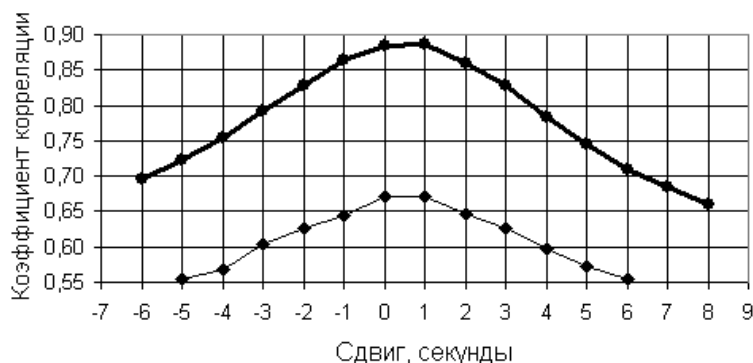


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента корреляции от взаимного сдвига последовательностей случайных величин x и y

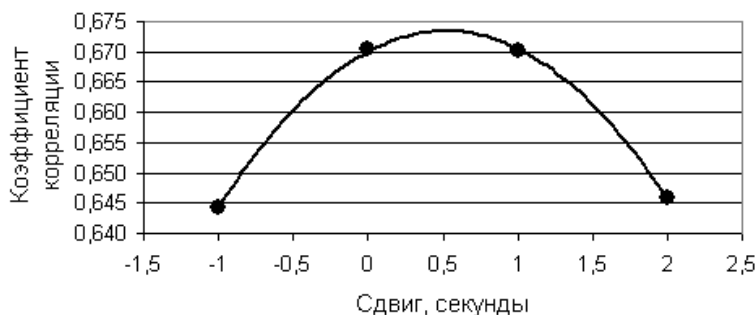


Рисунок 5 – Определение величины сдвига по максимуму аппроксимирующей функции коэффициента корреляции

К.М. Антонович. -М.: ФГУП Картгеоцентр, 2005. -Т.1. -334 с.

3 ГОСТ 23634-83. Морская навигация и морская гидрография. Термины и определения. -Введ. 01.01.1984. -М.: Изд-во стандартов, 1984. -12 с.

4 Bradford W. Parkinson, James J. Spinker. Global Positioning System: Theory and Applications. Vol. I. American Inst. of Aeronautics and Astronautics, Inc. Washington, DC, 1996. 793 p.

5 Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. -М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1962. 564 с.

6 Комаровский, Ю.А. Вычисление непараметрических позиционных характеристик эмпирического распределения погрешностей координат GPS-приёмника / Ю.А. Комаровский // Вестн. мор. гос. ун-в. им. адм. Г.И. Невельского.: Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. -Владивосток: Изд-во Мор. гос. ун-в., 2012. -Вып. 51. -С. 54-60.

zii]. Moscow. Federal St. Unitary Ent. Kartgeotsentr Publ. 2005. Vol. 1. 334 p.

3 GOST 23634-83. Marine navigation and marine hydrography. Terms and definitions [Morskaya navigatsiya i morskaya gidrografiya. Terminy i opredeleniya]. Moscow. Publ. Standartov. 1984. 12 p.

4 Bradford W. Parkinson, James J. Spinker. Global Positioning System: Theory and Applications. Vol. I. American Inst. of Aeronautics and Astronautics, Inc. Washington, DC, 1996. 793 p.

5 Venttsel' E.S. Probability theory [Teoriya veroyatnostei]. Moscow. St. Publ. House of Phys. and Mathemat. Literature. 1962. 564 p.

6 Komarovskii Yu.A. Computation of nonparametric positional characteristics of the empirical allocation of errors in the coordinates of the GPS receiver [Vychislenie neparametricheskikh pozitsionnykh kharakteristik empiricheskogo raspredeleniya pogreshnostei koordinat GPS-priemnika]. Maritime state university reporter. Issue: Automatic control, mathematical modeling and information technology [Vestnik morskogo gosudarstvennogo universiteta: Avtomaticheskoe upravlenie, matematicheskoe modelirovanie i informatsionnye tekhnologii]. Vladivostok: Maritime St. Univ. Publ. 2012. No. 51. pp. 54-60.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: GPS/ГЛОНАСС-приёмник, модуль абсолютной скорости, приращение координат, корреляционный момент, коэффициент корреляции
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, консультант МГУ им. адм. Г.И. Невельского
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, МГУ им. адм. Г.И. Невельского

ПРИМЕНЕНИЕ СТЕПЕННЫХ РЯДОВ В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СУДНА

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»
 ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»

А.А. Дыда, Е.П. Чинчукова, Н.Р. Чижиков

POWER SERIES APPLICATION FOR SHIP MATHEMATICAL MODEL IDENTIFICATION

Maritime State University named after admiral G.I.Nevelskoi (MSU named after adm. G.I.Nevelskoi) 50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia

Far Eastern Federal University (FEFU) 8, Sukhanova St., Vladivostok, 690090, Russia

Aleksandr A. Dyda (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

Elena P. Chinchukova (Senior Lecturer of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

Nikita R. Chizhikov (Graduate student of FEFU)

ABSTRACT: This paper proposes an approach based on the use of power series to identify the parameters of a mathematical model of a ship. This approach allows us to describe the a priori unknown function of the viscous water resistance by expanding in series with adjustable coefficients. This allowed authors to replace the functional uncertainty with the parametric one. The velocity gradient method is used for parametric adaptation. Experimental modeling confirmed the operability of the proposed approach.

Keywords: ship model, velocity gradient, identification, power series, parametric uncertainty

Предложен подход на основе применения степенных рядов, для идентификации параметров математической модели судна. Этот подход позволяет описать априорно-неизвестную функцию вязкого сопротивления воды с помощью разложения в ряд с настраиваемыми коэффициентами. Это позволило заменить функциональную неопределенность на параметрическую. Метод скоростного градиента применяется для параметрической адаптации. Экспериментальное моделирование подтвердило работоспособность предложенного подхода.

Настоящая работа посвящена проблемам идентификации параметров нелинейного объекта, в частности – судна. Решение этой задачи имеет важное значение при построении систем управления судном или других морских подвижных объектов (МПО). Общая модель судна представляет собой набор дифференциальных уравнений высокого порядка, для частных задач, например для задач управления курсом судна используется упрощенные модели – линейная модель Номото первого и второго порядка, а так же нелинейные модели Норбина и Беха [1-3, 6].

Линейные модели представляют собой существенно упрощенные модели, более адекватными и близкими к реальной модели судна являются нелинейные модели. В настоящей статье решается задача определения параметров нелинейной модели судна. Основная идея заключается в разложении неизвестной функции, описывающей момент силы вязкого

сопротивления, в степенной ряд и тем самым сведения задачи определения функции к задаче определения коэффициентов, то есть к параметрической идентификации.

Рассмотрим модель судна, как нелинейную модель Норбина 1-го порядка [1, 5] со следующей структурной схемой (рисунок 1).

Математическую модель операционного усилителя можно представить в общем виде

$$\dot{x} = f(x) + Ku, \quad (1)$$

где K – коэффициент управления;

u – управляющее воздействие;

$f(x)$ – нелинейная функция с неизвестными параметрами и структурой, описывающая влияние вязкого сопротивления на курс судна.

Зададимся настраиваемой моделью в виде

$$\dot{x}_m = f_m(x) + K_m u + V, \quad (2)$$

где x_m – выход модели;

$f_m(x)$, K_m – функция и параметр модели;

V – вспомогательная функция повышающая качество управления [4, 8];

e – разница между выходным сигналом объекта и выходным сигналом модели

$$e = x - x_m.$$

Так как любую функцию можно разложить в ряд, например Тейлора, представим

$$f(x) = \sum_{i=1}^n a_i x^i, \quad (3)$$

где $i = 1, \dots, n$.

Тогда в эталонной модели

$$f_m(x) = \sum_{i=1}^n a_{mi} x^i. \quad (4)$$

Для идентификации воспользуемся методом скоростного градиента [6-8]. Согласно этому методу – необходимо воспользоваться целевой функцией Q , пусть

$$Q = \frac{1}{2} e^2. \quad (5)$$

Для определения закона настройки идентифицирующих параметров a_{mi} и K_m вычислим производную по времени целевой функции $\dot{Q}$ с учетом уравнений (1) и (2)

$$\dot{Q} = e\dot{e} = e(\dot{x} - \dot{x}_d) = e\left(\sum_{i=1}^n a_i x^i + Ku - \sum_{i=1}^n a_{mi} x^i - K_m u - V\right). \quad (6)$$

Следуя схеме метода скоростного градиента, определим законы настройки параметров идентифицирующей модели

$$\dot{a}_{mi} = -\gamma e x^i; \dot{K}_m = -\gamma e u; V = \gamma \text{signe}, \quad (7)$$

где $\gamma = \text{Const}$.

Функция $f(x)$, для проверки работоспособности, выбрана, как степенной ряд 3-го порядка

$$f(x) = a_1 x^3 + a_2 x^2 + a_3 x + a_0, \quad (8)$$

где x – переменная, по которой выполняется разложение в ряд, в нашем случае, это – угловая скорость судна (скорость рысканья);

$a(i)$ – коэффициенты разложения.

Проверка работоспособности, полученного алгоритма адаптивной идентификации нелинейной модели судна показана на рисунке 2.

В соответствии с рекомендациями для выполнения адаптивной идентификации, входной сигнал исследуемого объекта должен иметь достаточно богатый спектр [8], для этого на вход идентифицируемого объекта и настраиваемой модели подается сигнал, представляю-

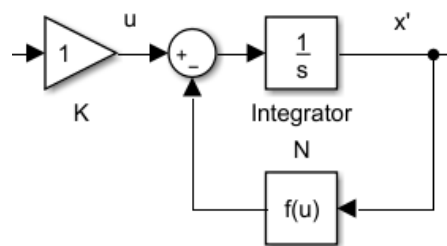


Рисунок 1 – Структурная схема модели Норбина 1-го порядка (N – нелинейная функция $f(x)$)

щий собой комбинацию трех гармоник и сигнала типа меандр.

При выполнении численного эксперимента для моделирования функции $f(x)$, описывающей влияние вязкого сопротивления среды на судно, выбирались полиномы первого и третьего порядка (нечетносимметричная функция).

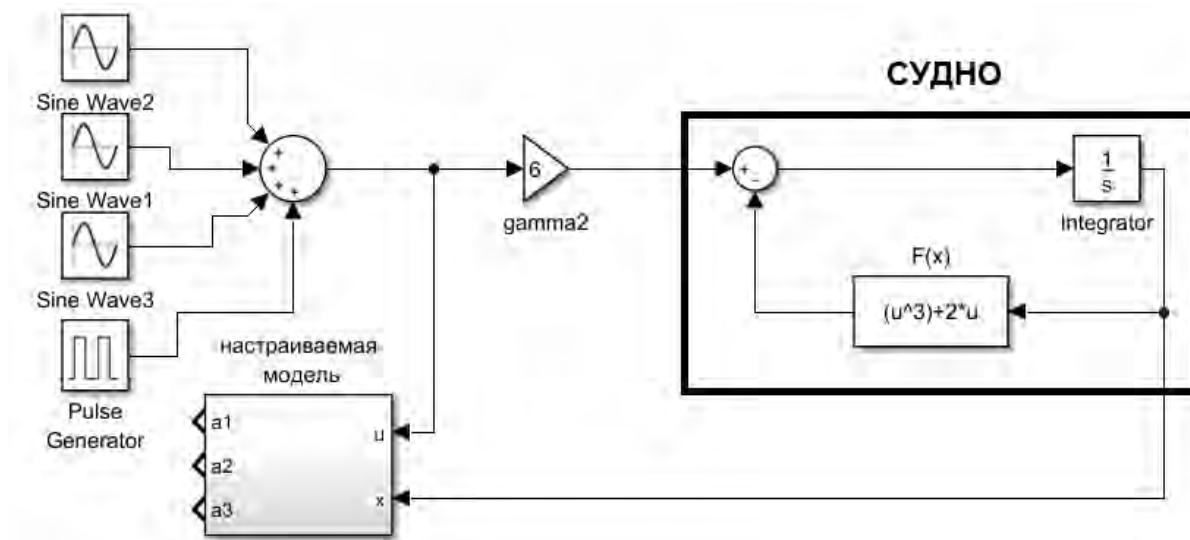


Рисунок 2 – Simulink-модель системы адаптивной идентификации

В настраиваемой модели принято, что $f_m(x)$ является полиномом третьего порядка, коэффициенты которой в результате настройки идентифицируют параметры нелинейной модели. Рассмотрим последовательно различные варианты:

– Вариант 1

$$f(x) = a_3 x^3; a_1 = 0; a_2 = 0; a_3 = 2.$$

В этом случае исходная нелинейная модель судна сводится к простой линейной модели Номото первого порядка.

На рисунке 3 показан процесс идентификации параметров.

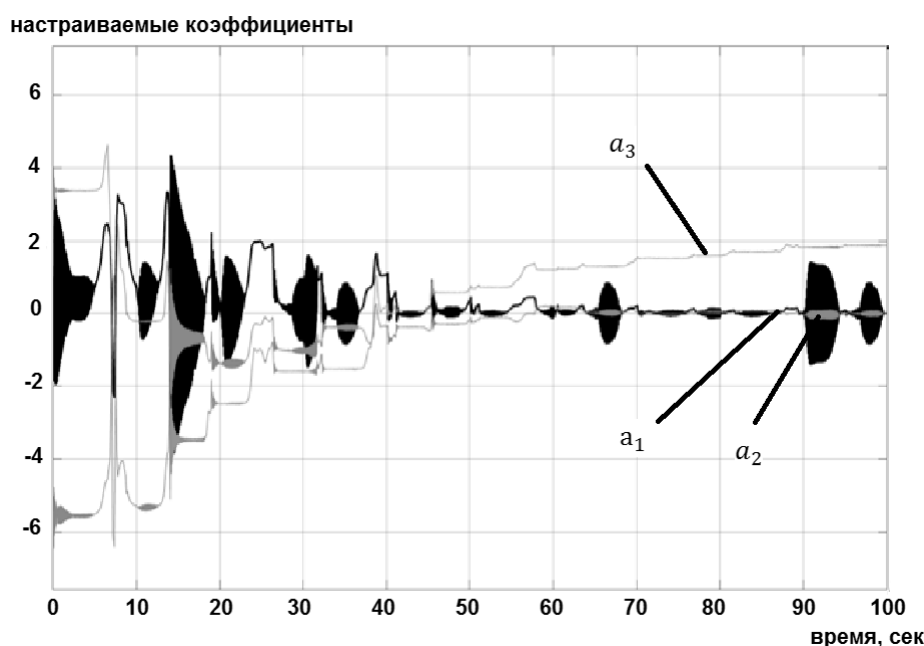


Рисунок 3 – Процесс идентификации коэффициентов функции $f_m(x)$, вариант 1

На графике (см. рисунок 3) видно, что значение a_{m3} стремится к 2, а значения a_{m1} и a_{m2} стремятся к 0.

– Вариант 2

$$f(x) = a_1 x^3 + a_3 x; a_1 = 3; a_2 = 0; a_3 = 1.$$

Осциллограммы, показывающие идентифицируемые параметры, представлены на рисунке 4.

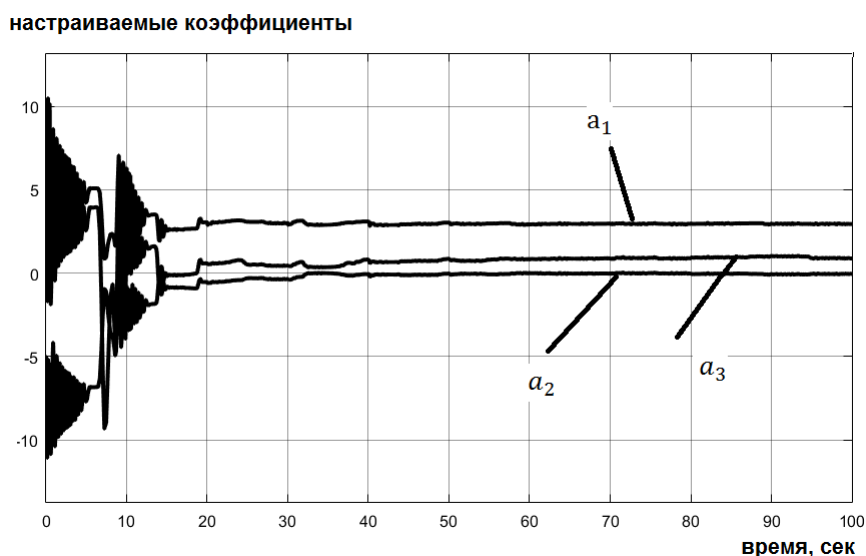


Рисунок 4 – Процесс идентификации коэффициентов функции $f_M(x)$, вариант 2

На графике (см. рисунок 4) видно, что значение a_{m1} стремится к 3, а значения a_{m3} и a_{m2} стремятся к 1 и 0 соответственно.

– Вариант 3

$$f(x) = a_1 x^3; a_1 = 3; a_2 = 0; a_3 = 0.$$

Осциллограммы, показывающие идентифицируемые параметры, представлены на рисунке 5.

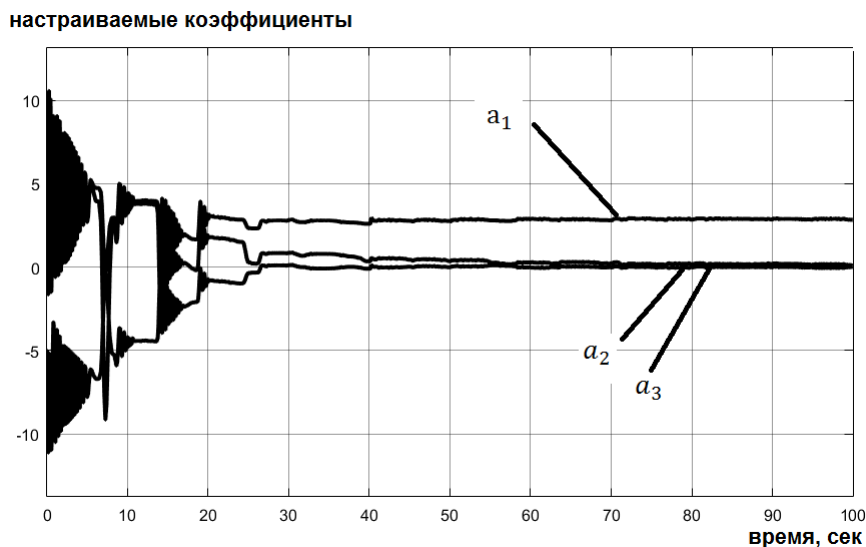


Рисунок 5 – Процесс идентификации коэффициентов функции $f_M(x)$, вариант 3

На графике (см. рисунок 5) видно, что значение a_{m1} стремится к 3, а значения a_{m3} и a_{m2} стремятся к 0.

Таким образом, проведенные на основе математической модели судна исследования показали возможность и перспективность применения степенных рядов для решения задач идентификации параметров нелинейных динамических объектов.

Дальнейшие исследования в этом направлении могут быть проведены с использованием более сложных нелинейных математических моделей, содержащих функции нескольких переменных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Amerongen, J. Adaptive Steering of Ship: PhD thesis / J. Van Amerongen. -Delft University of Technology, 2005. -156 p.
- 2 Nomoto, K. A review of methods of defining and measuring the manoeuvrability of ships / K. Nomoto, N. Norrbin // ITTC, Manoeuvrability Committee Report, 1969.
- 3 Nomoto, K. On the steering qualities of ship / K. Nomoto, T. Taguchi, S. Hirano // International Shipbuilding Progress. 1957. Vol. 4. No. 35, -P. 56-64.
- 4 Андриевский, Б.Р. Избранные главы теории автоматического управления / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадков. -СПб.: Наука, 2000. -475 с.
- 5 Дыда, А.А. Адаптивное и нейросетевое управления сложными динамическими объектами / А.А. Дыда. -Владивосток: Дальнаука, 2006. -149 с.
- 6 Дыда, А.А. Адаптивная идентификация параметров моделей судов на основе алгоритма скоростного градиента / А.А. Дыда, П.А. Дыда, Е.Б. Осокина, Д.А. Оськин // -Морские интеллектуальные технологии. -2016. -Т.1. -№3(33). -С. 263-268.
- 7 Дыда, А.А. Применение степенных рядов для построения адаптивной системы управления курсом судна / А.А. Дыда, Е.П. Чинчукова, М.В. Шевченко // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2011. -№1. -С. 121-124.
- 8 Фрадков, А.Л. Адаптивное управление в сложных системах: беспойсковые методы / А.Л. Фрадков. -М.: Наука, 1990. -296 с.

REFERENCES

- 1 Amerongen J. Adaptive Steering of Ship: PhD thesis / J. Van Amerongen. -Delft University of Technology, 2005. -156 p.
- 2 Nomoto K. and Norrbin N. A review of methods of defining and measuring the manoeuvrability of ships. ITTC, Manoeuvrability Committee Report, 1969.
- 3 Nomoto K., Taguchi T. and Hirano S. On the steering qualities of ship. International Shipbuilding Progress. 1957. Vol. 4, No. 35, pp. 56-64.
- 4 Andrievskii B.R., Fradkov A.L. Featured materials of automatic control theory [Izbrannye glavy teorii avtomaticheskogo upravleniya]. St. Petersburg. Nauka Publ. 2000. 475 p.
- 5 Dyda A.A. Adaptive and neural network control of complex dynamic objects [Adaptivnoe i neirosetevoe upravleniya slozhnymi dinamicheskimi ob'ektami]. Vladivostok. Dal'nauka Publ. 2006. 149 p.
- 6 Dyda A.A., Dyda P.A., Osokina E.B., Os'kin D.A. Adaptive identification of ship models parameters based on the high-speed gradient algorithm [Adaptivnaya identifikatsiya parametrov modelei sudov na osnove algoritma skorostnogo gradyenta]. Marine intelligent technologies [Morskoe intellektual'nye tekhnologii]. 2016. Vol. 1. No. 3(33). pp. 263-268.
- 7 Dyda A.A., Chinchukova E.P., Shevchenko M.V. The use of power series for building an adaptive course control system [Primenenie stepennykh ryadov dlya postroeniya adaptivnoi sistemy upravleniya kursom sudna]. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2011. No. 1. pp. 121-124.
- 8 Fradkov A.L. Adaptive control in complex systems: searchless methods [Adaptivnoe upravlenie v slozhnykh sistemakh: bespoiskovye metody]. Moscow. Nauka Publ. 1990. 296 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: модель судна, скоростной градиент, идентификация, степенные ряды, параметрическая неопределенность

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дыда Александр Александрович, докт. техн. наук, профессор МГУ им. адм. Г.И. Невельского

Чинчукова Елена Павловна, старший преподаватель МГУ им. адм. Г.И. Невельского

Чижиков Никита Романович, аспирант ФГАОУ ВО ДВФУ

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, МГУ им. адм. Г.И. Невельского

690950, г.Владивосток, ул.Суханова, 8, ФГАОУ ВО ДВФУ

РОБАСТНО-АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КУРСОМ СУДНА

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»
ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»

А.А. Дыда, Е.П. Чинчукова, Н.Р. Чижиков

ADAPTIVE ROBUST SHIP COURSE CONTROL

Maritime State University named after admiral G.I.Nevelskoi (MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)
50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia
Far Eastern Federal University (FEFU) 8, Sukhanova St., Vladivostok, 690090, Russia
Aleksandr A. Dyda (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)
Elena P. Chinchukova (Senior Lecturer of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)
Nikita R. Chizhikov (Graduate student of FEFU)

ABSTRACT: This paper develops an integrative approach of methods of adaptive and robust control as applicable to ship course control. Conditions of robust stability can be derived from Kharitonov's theorem. A gradient algorithm was proposed to adjust regulator parameters in such a way that its robust stability conditions to be satisfied. Results of simulations are given and discussed.

Keywords: ship model, gradient method, robust stability condition, ship course control

Рассмотрен подход объединяющий адаптивное и робастное управление курсом судна. Условия робастной устойчивости получены из теоремы Харитонова. Градиентный метод используется, чтобы настроить параметры регулятора для достижения робастной устойчивости. Результаты моделирования описаны в работе.

В работах [7, 8, 10, 11] система управления курсом судна основана на использовании теоремы Харитонова [9]. Представленный способ обеспечивает нужное качество системы

управления и ее робастную устойчивость, при неопределенности параметров модели морских подвижных объектов (МПО). Известны работы [10], в которых выполнялась частичная настройка регулятора, направленная на улучшение качества управления моделью МПО. В данной работе развивается подход, сочетающий преимущества адаптивного и робастного управления.

Системы управления объектом с неопределенными параметрами обычно являются адаптивными. Как правило, адаптивное управление опирается на приведение математической модели объекта к виду, когда неопределенные параметры группируются в некоторый вектор, который умножается на матрицу известных функций измеряемых координат системы. Знание математической структуры модели является необходимым (но порой недостаточным) условием параметризации уравнений на основе матриц известных функций (матриц-регрессоров) [5].

Робастные (грубые, нечувствительные) методы являются альтернативой адаптивным методам в условиях априорной неопределенности моделей. Робастные алгоритмы управления, в некоторой мере, могут компенсировать недостаток информации о структурных свойствах объекта управления [6]. Что является их преимуществом. Системы управления с робастным методом является нечувствительным к различного рода неопределенностям.

Часто для улучшения качества управления сложными объектами (к которым относятся и объекты с неопределенными параметрами) используются адаптивно-робастные методы – когда настройка параметров происходит согласно заданному качеству, например заданной «степени устойчивости» [8].

Для определения робастной устойчивости объекта с неопределенными параметрами, точное значение которых не известно, но известен интервал их значений, применяется теорема Харитонова.

В настоящей работе используется градиентный метод совместно с теоремой Харитонова для настройки параметров регулятора системы управления курсом судна.

Использование теоремы Харитонова [6] для определения устойчивости системы с неопределенными параметрами возможно при задании граничных значений всех параметров системы. Предполагая, что неопределенные параметры изменяются в известном диапазоне, построим систему управления курсом судна с помощью ПИД-регулятора, и рассчитаем согласно теореме Харитонова настройку параметров ПИД-регулятора.

Суть предлагаемого в настоящей работе решения, заключается в организации такой адаптивной настройки параметров регулятора, при которой достигается выполнение условий робастной устойчивости. При этом адаптивная настройка прекращается (останавливается) после выполнения условий теоремы Харитонова.

Проиллюстрируем предлагаемые решения, на основе модели Номото 1-го порядка [1, 3, 4] и ПИД-регулятора с настраиваемыми параметрами.

Модель Номото 1-го порядка имеет простейший вид линейного дифференциального уравнения 1-го порядка

$$\frac{T_c d\omega}{dt} = K_c \delta, \quad (1)$$

имеющего два параметра T_c и K_c . Параметр T_c характеризует устойчивость судна на курсе, параметр K_c – его поворотливость в начальный момент ухода судна с постоянного курса. Само уравнение устанавливает дифференциальную зависимость угловой скорости ω поворота судна вокруг вертикальной оси от кладки руля δ .

Расчеты настраиваемых параметров ПИД-регулятора. Построим алгоритм настройки регулятора на основе градиентного метода. Для этого сначала выполним необходимые расчеты.

Характеристическое уравнение рассматриваемой системы, состоящей из модели Номото, интегратора, настраиваемого ПИД-регулятора, и задающего угол поворота судна устройства

$$T_c S^3 + (K_c + K K_\delta) S^2 + K K_\eta S + K K_u = 0, \quad (2)$$

где T_c, K_c – неопределенные коэффициенты судна, значения которых могут меняться в различных условиях функционирования судна;

K_η – пропорциональный коэффициент ПИД-регулятора;

- K_δ – дифференциальный коэффициент;
 K_u – интегральный коэффициент;
 K – постоянный коэффициент модели МПО.

Далее, исходя из теоремы Харитонов [10] для обеспечения робастной устойчивости системы 3-го порядка достаточно чтобы был положителен определитель полинома Харитонova Q_1

$$Q_1 = a_{0\max} S^3 + a_{1\min} S^2 + a_{2\min} S + a_{3\max} = 0. \quad (3)$$

Согласно критерию Гурвица Q_1 положителен, если неотрицательны все его коэффициенты и определитель матрицы Δ_2 его коэффициентов, который вычисляется по следующей формуле

$$\Delta_2 = (K_{c\min} + K_\delta K) K K_n - K_u K T_{c\max}. \quad (4)$$

Далее для настройки коэффициентов ПИД-регулятора воспользуемся градиентным методом. Построим на его основе такой алгоритм изменения параметров регулятора, чтобы определитель Δ_2 изменялся в сторону увеличения и достиг положительного значения, что соответствует выполнению робастной устойчивости, после этого алгоритм настройки параметров регулятора следует остановить.

Найдем частные производные по настраиваемым параметрам

$$\frac{\partial \Delta_2}{\partial K_\delta}, \frac{\partial \Delta_2}{\partial K_u}, \frac{\partial \Delta_2}{\partial K_n}. \quad (5)$$

Далее, применив градиентный метод, получим следующий алгоритм настройки параметров регулятора

$$\begin{aligned} \dot{K}_\delta &= \gamma K K_n; \\ \dot{K}_n &= \gamma K (K_{c\min} + K_\delta K); \\ \dot{K}_u &= \gamma K T_{c\max}. \end{aligned} \quad (6)$$

Процесс настройки. Зададимся следующими значениями параметров модели судна [2]. Пусть T_c изменяется от 50 до 100, а K_c от 20 до 50.

Построенная система показана на рисунке 1.

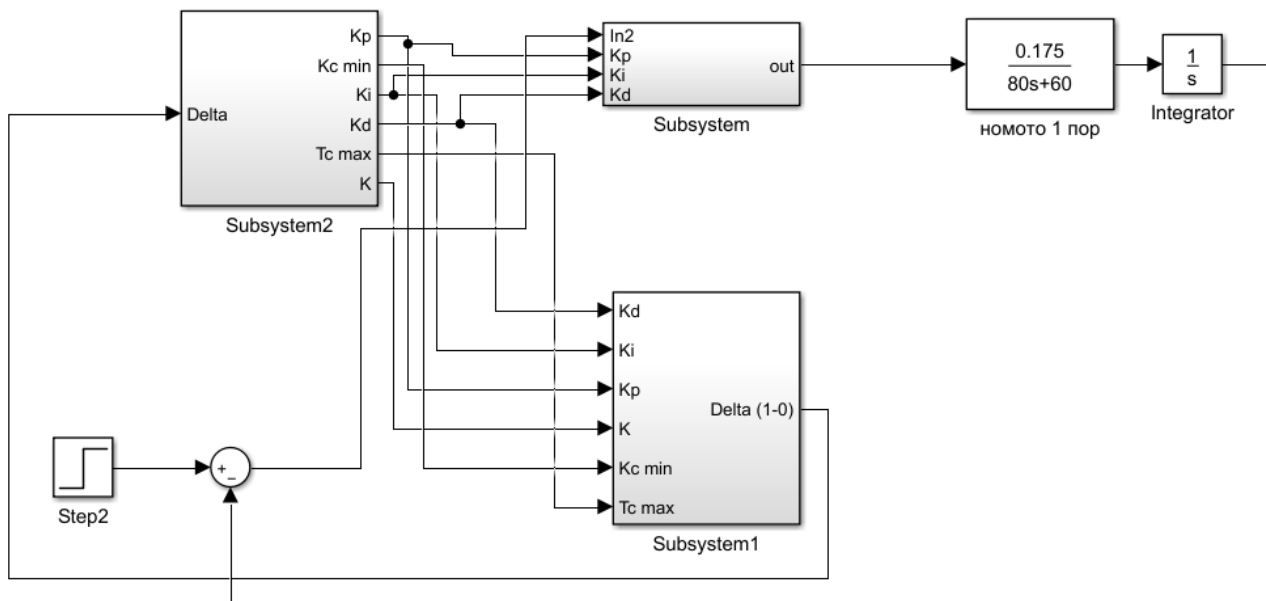


Рисунок 1 – Simulink-модель системы робастно-адаптивного управления

Зададимся следующими начальными параметрами ПИД регулятора: $K_\delta = 2$, $K_n = 2$, $K_u = 2$. При отсутствии их настройки, как показывает моделирование на рисунке 2, система управления курсом судна не устойчива.

Далее, зададим такие же начальные условия как и в ПИД-регуляторе без настройки в

настраиваемом ПИД-регуляторе, после настройки в результате моделирования система становится устойчивой, как видно на рисунке 3.

угол поворота судна, рад

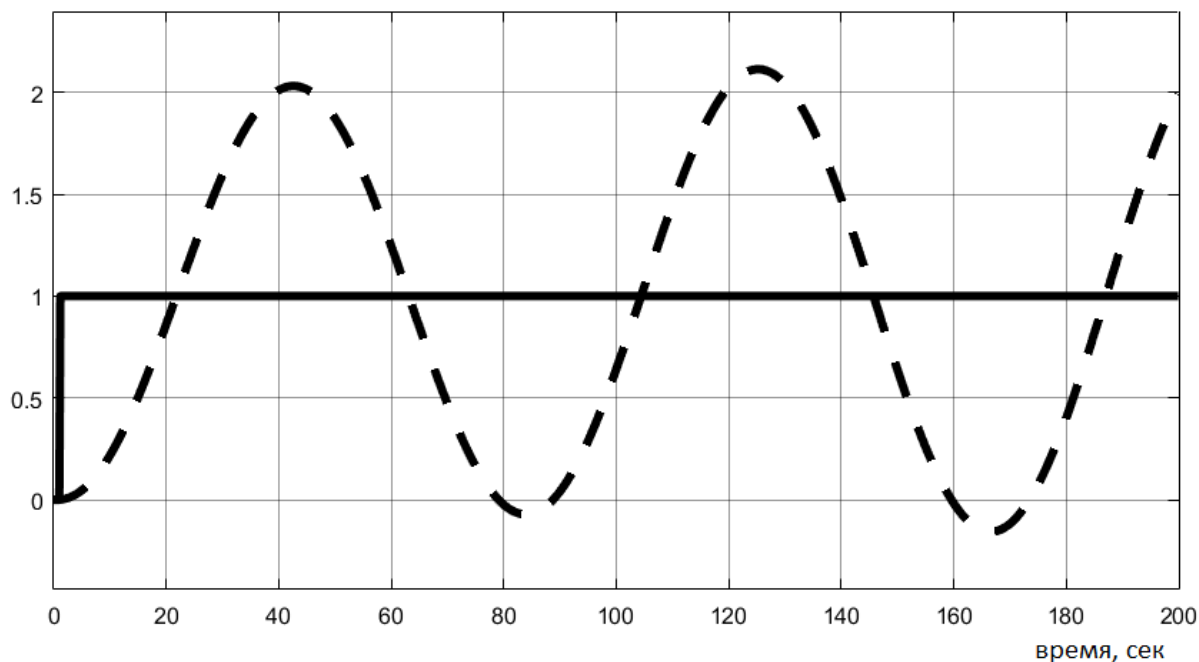


Рисунок 2 – Заданный угол поворота судна (сплошная линия), фактический угол поворота судна без настройки (пунктирная линия)

угол поворота судна, рад

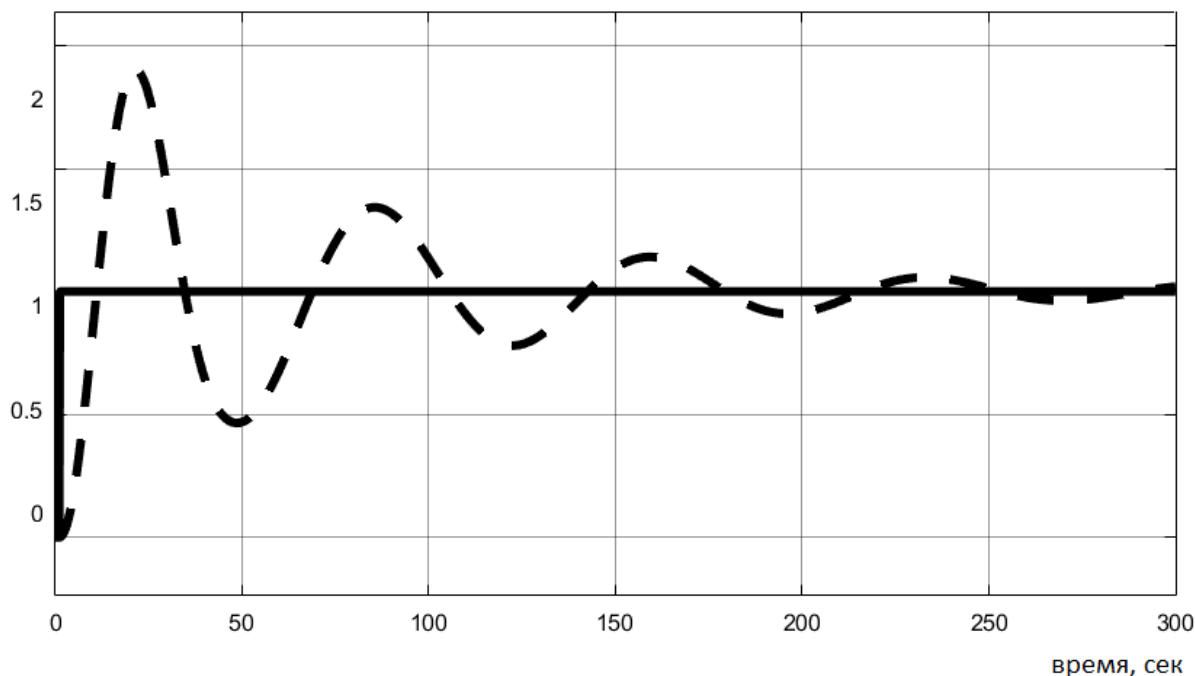


Рисунок 3 – Заданный угол поворота судна (сплошная линия), фактический угол поворота судна с настройкой (пунктирная линия)

Настройка параметров регулятора, показана на рисунке 4а-4в, настройка прекращается, как только определитель Δ_2 , график изменения которого показан на рисунке 4г, становится положительным (при $t = 8$ сек).

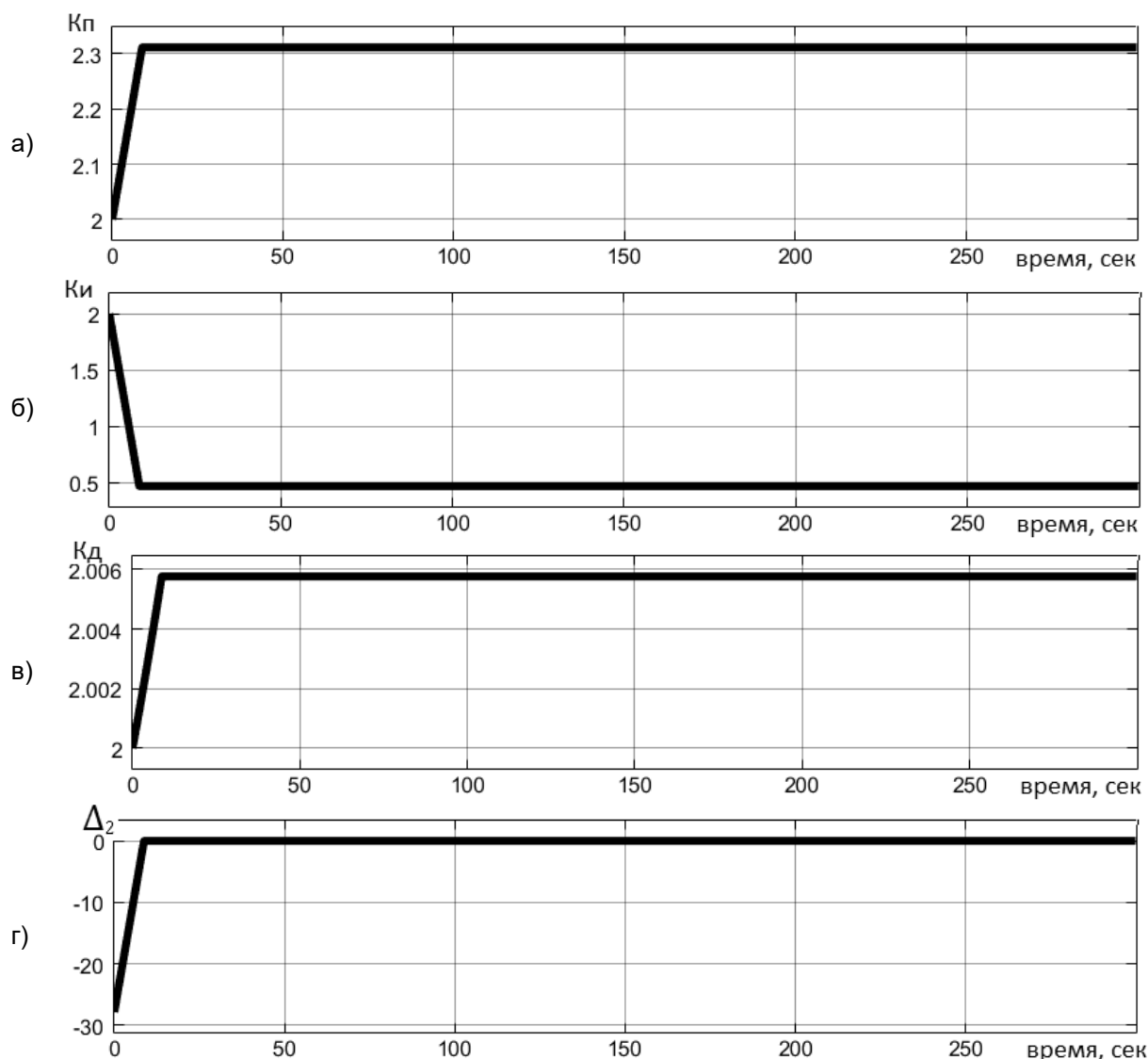


Рисунок 4 –Пропорциональная (а), интегральная (б), дифференциальная (в) составляющая и определитель (г) первого полинома Харитонова

Проведенные исследования позволяют сделать выводы о перспективности совместного использования методов адаптивного и робастного управления в частности движения морского судна. Предложенный подход к построению систем адаптивно-робастного управления может быть обобщен на случай параметрически-неопределенных объектов более высокого порядка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Amerongen, J. Adaptive Steering of Ship: PhD thesis / J. Van Amerongen. -Delft University of Technology, 2005. -156 p.
- 2 Ross, A. Identification of underwater vehicle hydrodynamic coefficients using free decay test / A. Ross, I.T. Fossen, T.A. Johansen // IFAC 2004. -P. 363-368.
- 3 Nomoto, K. A review of methods of defining and measuring the manoeuvrability of ships / K. Nomoto, N. Norrbinn // ITTC, Manoeuvrability Committee Report, 1969.
- 4 Nomoto, K. On the steering qualities of ship / K. Nomoto, T. Taguchi, S. Hirano // International Shipbuilding Progress. 1957. Vol. 4. No. 35, -P. 56-64.
- 5 Андриевский, Б.Р. Избранные главы теории автоматического управления / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадков. -СПб.: Наука, 2000. -475 с.
- 6 Дыда, А.А. Адаптивное и нейросетевое управления сложными динамическими объектами / А.А. Дыда. -Владивосток: Дальнаука, 2006. -149 с.
- 7 Дыда, А.А. Оптимизация параметров робастного

REFERENCES

- 1 Amerongen J. Adaptive Steering of Ship: PhD thesis / J. Van Amerongen. -Delft University of Technology, 2005. -156 p.
- 2 Andrey Ross, Thor I. Fossen, Tor Arne Johansen, Identification of underwater vehicle hydrodynamic coefficients using free decay test. IFAC 2004. pp. 363-368.
- 3 Nomoto K. and Norrbinn N. A review of methods of defining and measuring the manoeuvrability of ships. ITTC, Manoeuvrability Committee Report, 1969.
- 4 Nomoto K., Taguchi T. and Hirano S. On the steering qualities of ship. International Shipbuilding Progress. 1957. Vol. 4, No. 35, pp. 56-64.
- 5 Andrievskii B.R., Fradkov A.L. Featured materials of automatic control theory [Izbrannye glavy teorii avtomaticheskogo upravleniya]. St. Petersburg. Nauka Publ. 2000. 475 p.
- 6 Dyda A.A. Adaptive and neural network control of complex dynamic objects [Adaptivnoe i neirosetevoe upravleniya slozhnymi dinamicheskimi ob'ektami]. Vladivostok. Dalnauka Publ. 2006. 149 p.
- 7 Dyda A.A., Osokina E.B., Dyda P.A. Optimization of controller parameters in robust course control system [Optimizatsiya pa-

регулятора системы управления курсом судна / А.А. Дыда, Е.Б. Осокина, П.А. Дыда // -Вестн. гос. ун-в. мор. и речн. флота им. адм. С.О. Макарова. -2016. -№3(37). -С. 211-216.

8 Дыда, А.А. Построение робастно-устойчивой системы управления курсом судна / А.А. Дыда, Е.П. Чинчукова, С.А. Воробьева // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. - 2011. -№1. -С. 107-111.

9 Ким, Д.П. Теория автоматического управления. Линейные системы / Д.П. Ким. -М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. -Т.1. - 288 с.

10 Чинчукова, Е.П. Устойчивость системы управления морскими подвижными объектами с параметрической неопределенностью / Е.П. Чинчукова // Молодежь-Наука-Инновации: Сб. докл. 58-й между. научн.-техн. конф. (24-25 ноябр. 2010). -Владивосток: Мор. гос. ун-в., 2010. -Т.1. -С. 107.

11 Чинчукова, Е.П. Адаптивно-робастное управление объектами со структурно-параметрической неопределенностью / Е.П. Чинчукова // Молодежь-Наука-Инновации: Сб. докл. 59-й между. молод. научн.-техн. конф. (23-25 нояб. 2011). -Владивосток: Мор. гос. ун-в., 2011. -Т.1. -С. 178.

rametrov robastnogo regul'yatora sistemy upravleniya kursom sudna]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2016. No. 3(37). pp. 211-216.

8 Dyda A.A., Chinchukova E.P., Vorob'eva S.A. Building a robust-stable course control system [Postroenie robastno-ustoiichivoi sistemy upravleniya kursom sudna]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2011. No. №1. pp. 107-111.

9 Kim D.P. Automatic control theory. Linear systems [Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. Lineinye sistemy]. Moscow. FIZMATLIT Publ. 2003. Vol. 1. 288 p.

10 Chinchukova, E.P. Stability of maritime dynamic objects control system with parametric uncertainty [Ustoiichivost' sistemy upravleniya morskimi podvizhnymi ob'ektami s parametricheskoi neopredelennost'yu]. *Young People-Science-Innovations [Molodezh'-Nauka-Innovatsii]*. Vladivostok. Maritime St. Univ. Publ. 2010. Vol. 1. pp. 107.

11 Chinchukova, E.P. Adaptive robust dynamic objects control with structural and parametric uncertainty [Adaptivno-robastnoe upravlenie ob'ektami so strukturno-parametricheskoi neopredelennost'yu] *Young People-Science-Innovations [Molodezh'-Nauka-Innovatsii]*. Vladivostok. Maritime St. Univ. Publ. 2011. Vol. 1. pp. 178.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: модель судна, градиентный метод, робастное условие устойчивости, управление курсом судна

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дыда Александр Александрович, докт. техн. наук, профессор МГУ им. адм. Г.И. Невельского

Чинчукова Елена Павловна, старший преподаватель МГУ им. адм. Г.И. Невельского

Чижиков Никита Романович, аспирант ФГАОУ ВО ДВФУ

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, МГУ им. адм. Г.И. Невельского
690950, г.Владивосток, ул.Суханова, 8, ФГАОУ ВО ДВФУ

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ГОДА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТЕВОГО УГЛА НЕПОДВИЖНОГО GPS-ПРИЁМНИКА SPR-1400

ФГБУН «Институт автоматизации и процессов управления»
Дальневосточного отделения РАН
ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

В.А. Кац, Ю.А. Комаровский

TIME OF YEAR EFFECT ON THE COURSE OVER GROUND DISTRIBUTION OF THE STATIONARY GPS-RECEIVER SPR-1400
Institute of Automation and Control Processes Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IACP FEB RAS) 5, Radio St., Vladivostok, 690041, Russia
Maritime State University named after admiral G.I.Nevelskoi (MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)
50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia
Vladimir A. Katz (Senior software engineer of IACP FEB RAS)
Yurii A. Komarovskiy (Ph.D. of Engineering Sciences, Expert on technical issues of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

ABSTRACT: To measure low speed over ground which is close to zero, one can use the Course Over Ground (COG) distribution characteristics of the vessel going constant course. This paper investigates the characteristics of the COG GPS receiver SPR-1400 at winter and summer. As a result of the comparisons, invariance of asymmetry parameters of bimodal density of COG distribution is stated.

Keywords: GPS receiver, bimodal probability distribution

Для измерения малых абсолютных скоростей, близких к нулю, можно использовать характеристики распределения путевого угла (Course Over Ground – COG) судна, идущего постоянным курсом. В данной работе исследованы характеристики COG GPS-приёмника SPR-1400 зимой и летом. В результате сравнений установлена неизменность параметров асимметрии бимодальной плотности распределения COG.

Применение приёмника спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Навстар GPS в качестве датчика скорости началось с момента появления его на судах. Благодаря цифровому выводу информации в международном стандарте NMEA 0183, данные о текущих координатах судна, его скорости, точного времени поступают от GPS-приёмника в другие судовые навигационные приборы. Поэтому после появления на судах СРНС-приёмников возникла техническая возможность объединения аппаратуры ходового мостика в единый судовой навигационный комплекс, что заметно повысило надёжность современного судовождения. Помимо этого внедрение технологии автоматической идентификационной системы,

основанной на работе СРНС-приёмника, позволило по-новому подойти к решению традиционной задачи расхождения судов. Тем не менее, СРНС-приёмники имеют ряд недостатков, связанных с определением скорости судна. В отличие от судовых относительных лагов судовые спутниковые приёмники определяют вектор абсолютной скорости. Приёмники вычисляют направление вектора – COG (Course Over Ground) и модуль абсолютной скорости – SOG (Speed Over Ground). Аналогом COG в отечественной морской терминологии является путь, путевой угол [1, 2].

Первый недостаток существующих судовых СРНС-приёмников состоит в том, что некоторые из них не вычисляют SOG и COG при скоростях менее 1 или 2 уз. Примером тому могут служить приёмники GP-270ML компании Icom, а также SGN-500 компании Samyung. Такие приёмники эксплуатировать на судне просто опасно. Второй недостаток заключается в отсутствии информации о погрешностях SOG и COG на скоростях в диапазоне 0-1 уз из-за отсутствия должного изучения точности и чувствительности СРНС-приёмников, как датчиков скорости. Объяснением тому служат слишком высокая сложность этой проблемы, отсутствие апробированных методов исследований и большая затратность проведения натурных испытаний [3].

Определяемый приёмником модуль абсолютной скорости судна отображается на экране дисплея и выводится на внешние устройства с разрядностью 0,1 уз (0,05 м/с). Когда же скорость судна становится менее 0,1 уз, то отображается и выводится значение 0, несмотря на заметное видимое перемещение судна. Разработка технологии автономного судна и систем автоматической швартовки крупнотоннажных судов выдвигает требование к более точному определению скорости [4].

В ходе обработки данных о SOG и COG, полученных в результате экспериментальных наблюдений за перемещениями судов во время швартовок, а также на неподвижных судах, была обнаружена обратная зависимость среднего квадратического отклонения (СКО) COG от скорости судна. Было показано, что, используя эту зависимость, можно с помощью обычного судового СРНС-приёмника определять абсолютную скорость судна в диапазоне от 0 до 0,1 уз [4-11]. В этих работах была показана важность знаний о характеристиках распределения величин COG неподвижного судна, принимаемых в качестве векторного критерия, количественно описывающего нулевую абсолютную скорость. Такой критерий является реперным показателем, необходимым для определения малых скоростей судна. Поэтому значимыми будут дальнейшие исследования, направленные на изучение стабильности характеристик распределения COG неподвижного приёмника. Цель данной статьи заключается в проверке предположения о том, что характеристики этого распределения подвержены сезонным изменениям.

Для проверки сформулированного предположения были использованы экспериментальные данные, полученные в 2006 и в 2007 годах, в ходе наблюдений за работой судового GPS-приёмника SPR-1400, изготовленного компанией Samyung (Республика Корея). Два таких приёмника были установлены в лаборатории радионавигационных приборов и систем кафедры технических средств судовождения Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского во Владивостоке. Данные от одного из них автоматически записывались на жёсткий диск ноутбука зимой 2006 г. и летом 2007 г. Зимние наблюдения проводились с 7 ноября по 28 декабря с перерывами, вызванными необходимостью проведения лабораторных работ. Кроме того, лаборатория отключалась от электропитания с вечера пятницы до утра понедельника. Летние наблюдения продолжались с 3 июля по 7 августа, когда лабораторные работы не проводились. Поэтому зимой было зарегистрировано 1 901 044 значений COG, а летом – 2 115 357.

Будем считать генерируемую неподвижным GPS-приёмником величину COG как непрерывную случайную величину. Обозначим её через k . Тогда её функция распределения $F(k)$ непрерывна при всех значениях k . Обозначим плотность распределения случайной величины k через $f(k)$. Поскольку рассматривается вариант неподвижного GPS-приёмника, то появление того или иного значения COG может происходить в результате флуктуаций радионавигационного поля, создаваемого созвездием спутников системы Навстар GPS. Тогда

можно предположить равномерную плотность распределения k на отрезке $[a, b]$, где в нашем случае $a = 0$, $b = 360^\circ$.

Плотность равномерного закона распределения случайной величины k на отрезке $[a, b]$ будет иметь следующую запись

$$f(k) = \begin{cases} c & \text{для } a \leq k \leq b; \\ 0 & \text{для } k < a \text{ или } k > b. \end{cases}$$

Величина константы c определяется из условия

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(k) dk = 1.$$

В обсуждаемом случае это условие принимает следующий вид

$$c(b-a) = 1; c = 1/(b-a); c = 1/360 = 0,00277.$$

Если некоторый отрезок $[\alpha, \beta]$, с длиной ℓ входит в отрезок $[a, b]$, то вероятность того, что очередной отсчёт COG будет принадлежать сектору $\alpha - \beta$, равна

$$\int_{\alpha}^{\beta} f(k) dk = \int_{\alpha}^{\beta} c dk = c\ell = \frac{\ell}{b-a} = \frac{\ell}{360}.$$

Следовательно, вероятность того, что очередной отсчёт COG будет принадлежать любой части отрезка $[a, b]$, пропорциональна длине этой части. В полярной системе координат график плотности равномерного распределения COG будет выглядеть кругом единичной площади с радиусом, равным c .

Для подтверждения этой гипотезы отрезок $0-360^\circ$ был разбит на j равных секторов ($j = 72$, $\ell = 5$). Из массива данных, собранных зимой 2006 г., были выбраны значения COG, принадлежащие каждому j -му сектору. При этом значения COG, равные правым границам секторов, переносились в следующий сектор. Обозначим через N объём массива данных зимних наблюдений, а через n_i – количество значений COG, принадлежащих j -му сектору. Тогда относительные частоты $p_i = n_i/N$, при $N \rightarrow \infty$ становятся одинаковыми и приближаются к $5/360 \approx 0,01388$. Относительная частота будет точечной оценкой вероятности попадания COG в данный j -ый сектор. С помощью рассчитанных относительных частот p_i зимних наблюдений была построена гистограмма эмпирической плотности распределения COG в полярной системе координат, представленная на рисунке 1. На нём сплошная линия соединяет значения вычисленных относительных частот всех 5-градусных секторов. Пунктирная окружность радиуса 0,01388 отражает гистограмму в предположении равномерного закона распределения COG.

Анализ рисунка 1 позволяет сделать вывод о том, что распределение случайной величины COG в зимних наблюдениях нельзя признать близким к равномерному распределению. Видно, что форма плотности распределения близка к форме неправильного эллипса, ориентированного большей осью вдоль меридиана. Чаще всего регистрировались путевые углы, направленные на север. Анализ свойств плотности распределения COG удобнее проводить по традиционной линейной гистограмме, представленной на рисунке 2.

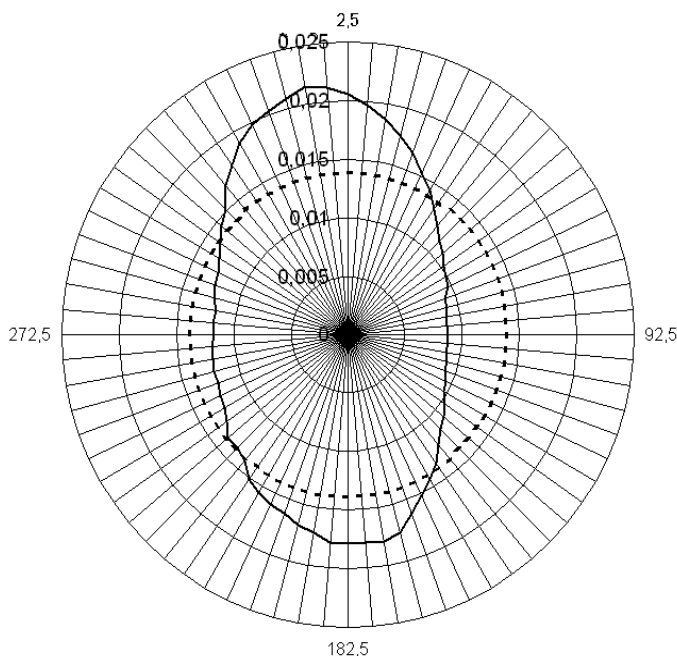


Рисунок 1 – Полярная гистограмма эмпирической плотности распределения COG GPS-приёмника SPR-1400 в зимних наблюдениях

Из рисунка 2 следует, что случайная величина COG имеет бимодальную несимметричную плотность распределения. Величины максимумов и минимумов кривой плотности, а также их положения на отрезке 0-360° сведены в таблицу 1.

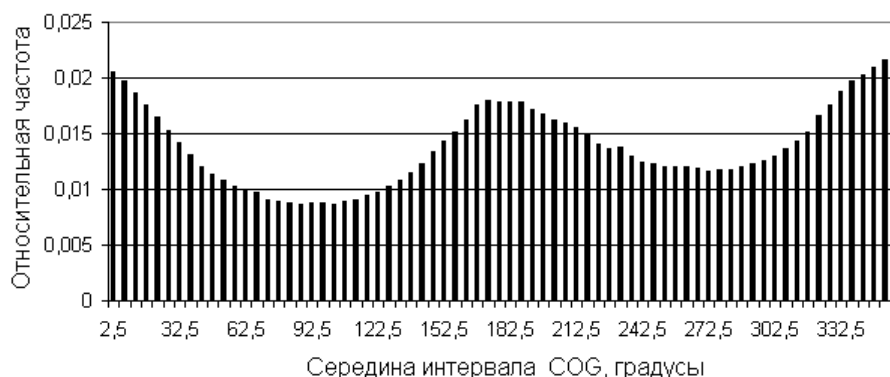


Рисунок 2 – Линейная гистограмма эмпирической плотности распределения COG GPS-приёмника SPR-1400 в зимних наблюдениях

Таблица 1 – Характеристики плотности распределения COG в зимних наблюдениях

Экстремум	Положение, градусы	Относительная частота
Первый максимум	359,3	0,0215
Первый минимум	92,5	0,0086
Второй максимум	183,8	0,0178
Второй минимум	273,1	0,0121

О плотности распределения COG в летних наблюдениях можно судить по гистограмме на рисунке 3 и по таблице 2.



Рисунок 3 – Линейная гистограмма эмпирической плотности распределения COG GPS-приёмника SPR-1400 в летних наблюдениях

Таблица 2 – Характеристики плотности распределения COG в летних наблюдениях

Экстремум	Положение, градусы	Относительная частота
Первый максимум	354,7	0,0188
Первый минимум	90	0,0094
Второй максимум	176,8	0,0183
Второй минимум	258,8	0,0118

Форма эмпирической плотности распределения COG в летних наблюдениях практически повторяет форму зимних наблюдений. Тем не менее, летнее распределение более симметрично, хотя и сохраняет большее значение относительной частоты второго минимума. Обнаруженные отличия можно объяснить неоднородностью выборки зимних наблюдений.

Полученные результаты не дают основания для окончательного вывода о существовании зависимости характеристик плотности распределения путевого угла неподвижного GPS-приёмника SPR-1400 от времени года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Справочник гидрографа по терминологии. - М.: Министерство обороны СССР Главное управление навигации и океанографии, 1984. -286 с.
- 2 ГОСТ 23634-83 (СТ СЭВ 3849-82). Морская навигация и морская гидрография. Термины и определения. -М.: Изд-во стандартов, 1984. -14 с.
- 3 Комаровский, Ю.А. Анализ проблемы оценки точности измерения скорости судовым GPS-приёмником / Комаровский Ю.А. // -Транспортное дело России. -2005. -№3 (спец. вып.). -С. 103-108.
- 4 Комаровский, Ю.А. Повышение точности определения скорости в спутниковых системах швартовки судов / Комаровский Ю.А. // -Вестник инженерной школы Дальневост. федеральн. ун-та. -2017. -№2(31). -С. 30-43. -Режим доступа: <https://www.dvfu.ru/vestnikis/archive-editions/2-31/4/> -18.02.2018.
- 5 Комаровский, Ю.А. Сравнение направлений абсолютных перемещений судов в операциях ЛАРН / Ю.А. Комаровский // Вестн. Мор. гос. ун-в. Серия: Теория и практика защиты моря. -Владивосток: Изд-во Мор. гос. ун-в., 2010. Вып. 41. -С. 29-35.
- 6 Комаровский, Ю.А. Диагностика остановки носителя GPS-приёмника компании Furuno / Ю.А. Комаровский // Вестн. Мор. гос. ун-в. Серия: Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. -Владивосток: Изд-во Мор. гос. ун-в., 2010. Вып. 43. -С. 94-99.
- 7 Комаровский, Ю.А. Экспресс-тестирование точности работы судового GPS-приёмника SPR-1400 / Ю.А. Комаровский // Вестн. Мор. гос. ун-в. Серия: Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. -Владивосток: Изд-во Мор. гос. ун-т, 2011. Вып. 45. -С. 31-39.
- 8 Комаровский, Ю.А. Вариабельность путевого угла (COG) на малых скоростях судна / Ю.А. Комаровский // Проблемы транспорта Дальнего Востока: мат-лы XX между. научн.-практ. конф. посвящённой 200-летию адм. Г.И. Невельского (2-4 окт. 2013 г.). -Владивосток: Изд-во ДВО РАН, 2013. -С. 30-34.
- 9 Комаровский, Ю.А. Распределение направления вектора абсолютной скорости неподвижного судна вблизи станции DGPS / Ю.А. Комаровский // Проблемы транспорта Дальнего Востока: мат-лы XXI между. научн.-практ. конф. (2-4 окт. 2015 г.). -Владивосток: Изд-во ДВО РАН, 2015. -С. 47-50.
- 10 Комаровский, Ю.А. Определение момента остановки судна по вариации путевого угла приёмника GP-37 / Ю.А. Комаровский // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2010. -№1. -С. 118-24.
- 11 Комаровский, Ю.А. Использование системы Навстар GPS для мониторинга дрейфа айсбергов вблизи морских платформ / Ю.А. Комаровский // -Гидротехника. -2016. -№4. -С. 92-95.

REFERENCES

- 1 Hydrographer' glossary [*Spravochnik gidrografa po terminologii*]. Moscow: Ministry of Defense of the USSR Chief Directorate for Navigation and Oceanography [Ministerstvo oborony Soyuzo SSR, Glavnoe upravlenie navigatsii i okeanografii], 1984. -286 p.
- 2 GOST 23634-83. Marine navigation and hydrography. Terms and definitions [*Morskaya navigatsiya i morskaya gidrografiya. Terminy i opredeleniya*]. Moscow: Standart Publ. 1984. 14 p.
- 3 Komarovskii Yu. A. Analysis of accuracy assessment problem of the speed measurement with a GPS receiver [Analiz problemy otsenki tochnosti izmereniya skorosti sudovym GPS-priemnikom]. Transport business of Russia. Special issue [*Transportnoe delo Rossii. Spetsial'nyi vypusk*]. 2005. No. 3. pp 103-108.
- 4 Komarovskii Yu. A. Improving the accuracy of speed determination in mooring systems [Povyshenie tochnosti opredeleniya skorosti v sputnikovykh sistemakh shvartovki sudov]. FEPU: School of engineering Bulletin [*Vestnik inzhenernoy shkoly Dal'nevost. federal'n. universiteta*]. 2017. No. 2(31). pp. 30-43. URL: <https://www.dvfu.ru/vestnikis/archive-editions/2-31/4/> -18 February. 2018.
- 5 Komarovskii Yu. A. Comparison of ship over ground courses during OSR Operations [Sravnenie napravlenii absolyutnykh peremeshchenii sudov v operatsiyakh LARN]. Maritime state university reporter. Issue: Theory and practice of sea protection [*Vestnik Morskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Teoriya i praktika zashchity morya*]. -Vladivostok: Maritime St. Univ. Publ., 2010. Vol. 41. pp. 29-35.
- 6 Komarovskii Yu.A. Diagnostics of stopping the Furuno GPS carrier [Dagnostika остановки носителя GPS-priemnika kompanii Furuno]. Maritime state university reporter. Issue: Automatic control, mathematical modeling and information technology [*Vestnik Morskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Avtomaticheskoe upravlenie, matematicheskoe modelirovanie i informatsionnye tekhnologii*]. Vladivostok: Maritime St. Univ. Publ., 2010. Vol. 43. pp. 94-99.
- 7 Komarovskii Yu.A. Testing marine GPS SPR-1400 accuracy [Ekspress-testirovanie tochnosti raboty sudovogo GPS-priemnika SPR-1400]. Maritime state university reporter. Issue: Automatic control, mathematical modeling and information technology [*Vestnik Morskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Avtomaticheskoe upravlenie, matematicheskoe modelirovanie i informatsionnye tekhnologii*]. -Vladivostok: Maritime St. Univ Publ., 2011. Vol. 45. pp. 31-39.
- 8 Komarovskii Yu.A. Variability of COG at low speed [Variabel'nost' putevogo ugla (COG) na malykh skorostyakh sudna] // Problems of transportation in the Far East [*Problemy transporta Dal'nego Vostoka*]. Vladivostok: FEB RAS Publ., 2013. pp. 30-34.
- 9 Komarovskii Yu.A. Distribution of the direction of the speed over ground vector of the stationary vessel near the DGPS station [Raspredele-nie napravleniya vektora absolyutnoy skorosti nepodvizhnogo sudna vblizi stantsii DGPS]. Problems of transportation in the Far East [*Problemy transporta Dal'nego Vostoka*]. -Vladivostok: FEB RAS Publ., 2015. pp. 47-50.
- 10 Komarovskii Yu.A. Determination of stop moment of the vessel by the variation of COG of GP-37 receiver [Opredelenie momenta остановki sudna po variatsii putevogo ugla priemnika GP-37]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*, 2010. No. 1. pp. 118-24.
- 11 Komarovskii, Yu.A. Using the Navstar GPS system for monitoring the iceberg drift near offshore platforms [Ispol'zovanie sistemy Navstar GPS dlya monitoringa dreifa aisbergov vblizi morskikh platform]. Hydraulic engineering [*Gidrotekhnika*]. 2016. No. 4. pp. 92-95.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

GPS-приёмник, бимодальное распределение вероятностей

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Кац Владимир Александрович, главный специалист-программист ИАПУ ДВО РАН
Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, консультант МГУ им. адм. Г.И. Невельского

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

690041, г.Владивосток, ул.Радио, 5, ИАПУ ДВО РАН
690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, МГУ им. адм. Г.И. Невельского

КИНЕТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ И КОМБИНИРОВАННОЙ ОЧИСТКИ МОТОРНОГО МАСЛА ФИЛЬТРОВАНИЕМ И ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕМ В ДИЗЕЛЯХ

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»
ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет»

Г.П. Кича, Л.А. Семенюк, П.П. Кича

CONTAMINATION AND COMBINED PURIFICATION KINETICS OF MOTOR OIL BY METHODS OF FILTRATION AND CENTRIFUGATION IN DIESEL ENGINES

Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoi (MSU named after adm. G.I. Nevelskoi)
50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia

The Far Eastern State Technical Fisheries University (Dalrybvtuz) 52b, Lugovaya St., Vladivostok, 690087, Russia

Gennadii P. Kicha (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of MSU named after adm. G.I. Nevelskoi)

Lyudmila A. Semenyuk (Graduate student of MSU named after adm. G.I. Nevelskoi)

Pavel P. Kicha (Ph.D. of Engineering Sciences, Prof. of Dalrybvtuz)

ABSTRACT: The article presents a method of calculation of insoluble impurity accumulation in motor oil considering variable intensity of its cleaning by the full-flow filter and centrifugal cleaner. By taking as examples the 2Ч10,5/13 and 6ЧН20/28 diesels authors analyzed oil contamination kinetics continuously or periodically filling-up the oil for burning compensation.

Keywords: resource-conserving oil consuming, motor oil, combined filtering, engine wear

Представлена методика расчета накопления нерастворимых примесей в моторном масле с учетом переменной интенсивности его очистки полнопоточным фильтром и центробежным очистителем. На примерах с дизелем 2Ч10,5/13 и 6ЧН20/28 проанализирована кинетика загрязнения масла при непрерывном и периодическом его доливе для компенсации угара.

Применение комбинированных систем тонкой очистки моторного масла (ММ) в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) является наиболее эффективным средством сохранения его эксплуатационных свойств на высоком уровне в течение длительного времени. Эта система включает в себя полнопоточный фильтр и центробежный очиститель (ЦО). Данное сочетание маслоочистителей (МО) наиболее рациональное при работе двигателей на тяжелых сортах топлива, а также при тяжелых режимах нагружения и при применении масел с металлодержащими присадками.

Однако теория комбинированных систем тонкой очистки масла до настоящего времени не разрабатывалась. Комплексное взаимодействие фильтра тонкой очистки и центрифуги и воздействие их на ММ в системе смазки ДВС в условиях полидисперсного загрязнителя не исследованы [1, 2]. Нами сделана попытка расчетным путем учесть влияние параметров двигателя, системы смазки (СС), фильтра и центрифуги, режимов обслуживания маслоочистителей на процесс накопления нерастворимых примесей (НРП) в масле.

Новизна полученных зависимостей обусловлена уточнением теории очистки, применением оригинальных преобразований, что позволило упростить алгоритм расчета и сократить время счета.

Наибольшие затруднения в реализации адекватной модели старения масла по загрязнению вызваны объединением в одной системе очистителей и противоположным действием на эффективность очистки накапливаемых в них отложений [3]. В полнопоточном фильтре по мере накопления отложений при увеличении продолжительности работы качество очистки улучшается, в центробежном наоборот – при накоплении отложений в роторе фактор разделения и интенсивность очистки понижается [1].

По мере заполнения емкости ротора центрифуги отложениями коэффициент полноты отсева φ_u этого МО и соответственно его интенсивность очистки $Q_u \varphi_u$ уменьшаются. Аналитическое выражение для текущей интенсивности очистки ЦО можно представить уравнением [2]

$$Q_u \varphi_u = Q_u \varphi_{u0} \left(1 - \frac{g_u \lambda_u}{V_u \rho_u} \right), \quad (1)$$

где $Q_u \varphi_{u0}$, $Q_u \varphi_u$ – начальная и текущая интенсивность очистки центрифуги ко времени τ ее

- работы в СС дизеля, кг/ч;
 g_u – количество нерастворимых продуктов, собранных ЦО за время τ , кг;
 ρ_u – плотность отложений в роторе центрифуги, кг/дм³;
 λ_u – отношение массы отложений в роторе ЦО к количеству сухой фазы нерастворимых загрязнений;
 V_u – вместимость ротора, дм³.

Линейная зависимость $Q_u \rho_u$ от количества накапливающихся в роторе отложений (1) справедлива в основном для тонкодисперсной фазы загрязнений, что доказывается разложением в степенной ряд известной экспоненциальной зависимости для коэффициента отсева с сохранением двух членов разложения [2].

Интенсивность очистки масла фильтром по мере накопления отложений на фильтрующей шторе изменяется по закону [1]

$$Q_\phi \rho_\phi = Q_\phi \rho_{\phi 0} \left(1 + \frac{g_\phi \lambda_\phi}{G_{\phi 0}} \right), \quad (2)$$

где $Q_\phi \rho_{\phi 0}$, $Q_\phi \rho_\phi$ – начальная и текущая интенсивность очистки фильтра, кг/ч;

g_ϕ – масса НРП, накопившихся на фильтрующей перегородке за время τ , кг;

$G_{\phi 0}$ – грязеемкость фильтра, кг;

λ_ϕ – отношение массы отложений на элементах фильтра к количеству НРП.

Для расчета g_ϕ и g_u по балансу загрязнений можно принять допущение пропорциональности величины каждой статьи удаления НРП соответствующим средним интенсивностям очистки масла фильтрованием и центрифугированием. Тогда масса загрязнений рассматриваемого вида в роторе центрифуги и на фильтрующей шторе фильтра ко времени τ может определяться по зависимостям [2]:

$$g_u = \frac{K_u Q_u \rho_{u0}}{K_y Q_y + K_\phi Q_\phi \rho_{\phi 0} + K_u Q_u \rho_{u0}} (a\tau + x_0 G_0 - x G_0); \quad (3)$$

$$g_\phi = \frac{K_\phi Q_\phi \rho_{\phi 0}}{K_y Q_y + K_\phi Q_\phi \rho_{\phi 0} + K_u Q_u \rho_{u0}} (a\tau + x_0 G_0 - x G_0), \quad (4)$$

где a – скорость загрязнения масла НРП, кг/ч;

x_0, x – начальная и текущая концентрация загрязнения, отн.ед.;

G_0 – первоначальная масса залитого в смазочную систему масла, кг;

Q_y – скорость угара масла, кг/ч;

K_y – коэффициент угара загрязнений, отн. ед.

Коэффициенты K_u, K_ϕ дают возможность предварительно учесть влияние режима обслуживания МО на эффективность очистки. Эти коэффициенты определяют с учетом от начальной среднюю интенсивность очистки масла центрифугой и фильтром, за период работы между обслуживанием или переходу к следующему циклу расчета, с коррекцией K_u и K_ϕ . Более частая их корректировка позволяет производить расчеты с более высокой точностью.

Если ротор центрифуги не чистится длительное время, почти до заполнения его отложениями, K_u допустимо принять равным 0,5. При обслуживании центрифуги по мере заполнения шламом грязевого пространства ротора поправочный коэффициент определяется по выражению: $K_u = 1 - (V_{з.к} / 2V_p)$. Если учесть, что в большинстве случаев вместимость грязевой камеры примерно соответствует половине рабочей вместимости ротора, коэффициент K_ϕ можно считать равным 0,7-0,8.

Подставив выражение (3), (4) соответственно в формулы (1) и (2) получим:

$$Q_u \rho_u = Q_u \rho_{u0} \left[1 - (a\tau + x_0 G_0 - x G_0) \frac{K_u Q_u \rho_{u0}}{K_y Q_y + K_\phi Q_\phi \rho_{\phi 0} + K_u Q_u \rho_{u0}} \frac{\lambda_u}{V_u \rho_u} \right]; \quad (5)$$

$$Q_{\phi} \varphi_{\phi} = Q_{\phi} \varphi_{\phi 0} \left[1 + (a\tau + x_0 G_0 - x G_0) \frac{K_{\phi} Q_{\phi} \varphi_{\phi 0}}{K_y Q_y + K_{\phi} Q_{\phi} \varphi_{\phi 0} + K_u Q_u \varphi_{u 0}} \frac{\lambda_{\phi}}{G_{\phi 3}} \right]. \quad (6)$$

Составив уравнение материального баланса, найдем зависимость в дифференциальной форме между основными его составляющими для определения увеличения массы примесей в системе смазки за время $d\tau$

$$G_0 dx = a d\tau - \left\{ K_y Q_y + Q_{\phi} \varphi_{\phi 0} \left[1 + (a\tau + x_0 G_0 - x G_0) \frac{K_{\phi} Q_{\phi} \varphi_{\phi 0}}{K_y Q_y + K_{\phi} Q_{\phi} \varphi_{\phi 0} + K_u Q_u \varphi_{u 0}} \frac{\lambda_{\phi}}{G_{\phi 3}} \right] + \right. \\ \left. + Q_u \varphi_{u 0} \left[1 - (a\tau + x_0 G_0 - x G_0) \frac{K_u Q_u \varphi_{u 0}}{K_y Q_y + K_{\phi} Q_{\phi} \varphi_{\phi 0} + K_u Q_u \varphi_{u 0}} \frac{\lambda_u}{V_u \rho_u} \right] \right\} x d\tau. \quad (7)$$

Введем обозначения

$$B = \frac{K_u (Q_u \varphi_{u 0})^2}{K_y Q_y + K_{\phi} Q_{\phi} \varphi_{\phi 0} + K_u Q_u \varphi_{u 0}} \frac{\lambda_u}{V_u \rho_u} - \frac{K_{\phi} (Q_{\phi} \varphi_{\phi 0})^2}{K_y Q_y + K_{\phi} Q_{\phi} \varphi_{\phi 0} + K_u Q_u \varphi_{u 0}} \frac{\lambda_{\phi}}{G_{\phi 3}}$$

и

$$E = \frac{1}{G_0} (K_y Q_y + K_{\phi} Q_{\phi} \varphi_{\phi 0} + K_u Q_u \varphi_{u 0}) - B x_0.$$

Проведя некоторые преобразования, получим уравнение Риккати [2, 4]

$$\frac{dx}{d\tau} + Bx^2 + \left(E - \frac{aB}{G_0} \tau \right) x - \frac{a}{G_0} = 0. \quad (8)$$

Анализ данного уравнения показал, что оно имеет одно частное решение. В этом случае общее решение дифференциального уравнения (8) находится двумя квадратурами. В окончательном виде оно выглядит

$$x = \frac{a}{G_0} \tau - \frac{E}{B} + \frac{(Bx_0 + E) \exp \left(E\tau - \frac{aB}{2G_0} \tau^2 \right)}{B + (Bx_0 + E) \int_0^{\tau} \exp \left(E\tau - \frac{aB}{2G_0} \tau^2 \right) d\tau}. \quad (9)$$

В представленном уравнении

$$\int_0^{\tau} \exp \left(E\tau - \frac{aB}{2G_0} \tau^2 \right) d\tau,$$

в элементарных функциях не выражается. Следовательно, использование данного выражения в практических целях вызывает затруднение, так как приходится определять значение входящего в него интеграла приближенными методами. С целью упрощения зависимости и представления ее в виде, удобном для практического применения, выразим

$$\int_0^{\tau} \exp \left(E\tau - \frac{aB}{2G_0} \tau^2 \right) d\tau,$$

через функцию ошибок $\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y \exp(-z^2) dz$,

значение которой легко получить при использовании специальных таблиц, либо ЭВМ.

После преобразований получим окончательное уравнение для расчета кинетики загрязнения циркуляционного масла НРП, при непрерывном доливе в СС дизеля [4,5]. Концентрацию примесей в масле функции от продолжительности его использования в дизеле с комбинированной системой очистки можно рассчитать по уравнению

$$x = \frac{a}{G_0} \tau - \frac{E}{B} + \frac{(Bx_0 + E) \exp \left(E\tau - \frac{aB}{2G_0} \tau^2 \right)}{B + (Bx_0 + E) \sqrt{\frac{\pi G_0 B}{2a}} \exp \left(\frac{G_0 E^2}{2aB} \right) \left[\operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{aB}{2G_0}} \tau - E \sqrt{\frac{G_0}{2aB}} \right) + \operatorname{erf} \left(E \sqrt{\frac{G_0}{2aB}} \right) \right]}. \quad (10)$$

Полученная формула позволяет, выявив путем краткосрочных испытаний основные параметры по угару Q_y , скорости загрязнения a и интенсивность его очистки центрифугой, фильтром, прогнозировать с достаточной степенью точности концентрацию примесей в масле к исходу длительной работы в идентичных условиях при различных режимах обслу-

живания очистителей.

Расчет накопления НРП по формуле (10) в масле М12Б дизеля 2Ч10,5/13 при условии интенсивного удаления НРП центрифугой МЦН-2НС (ГОСТ 10556-78), фильтром с элементами «Реготмас-412» (ТУ 63.66.1-77) и непрерывным доливом ММ в СС показаны на рисунке 1.

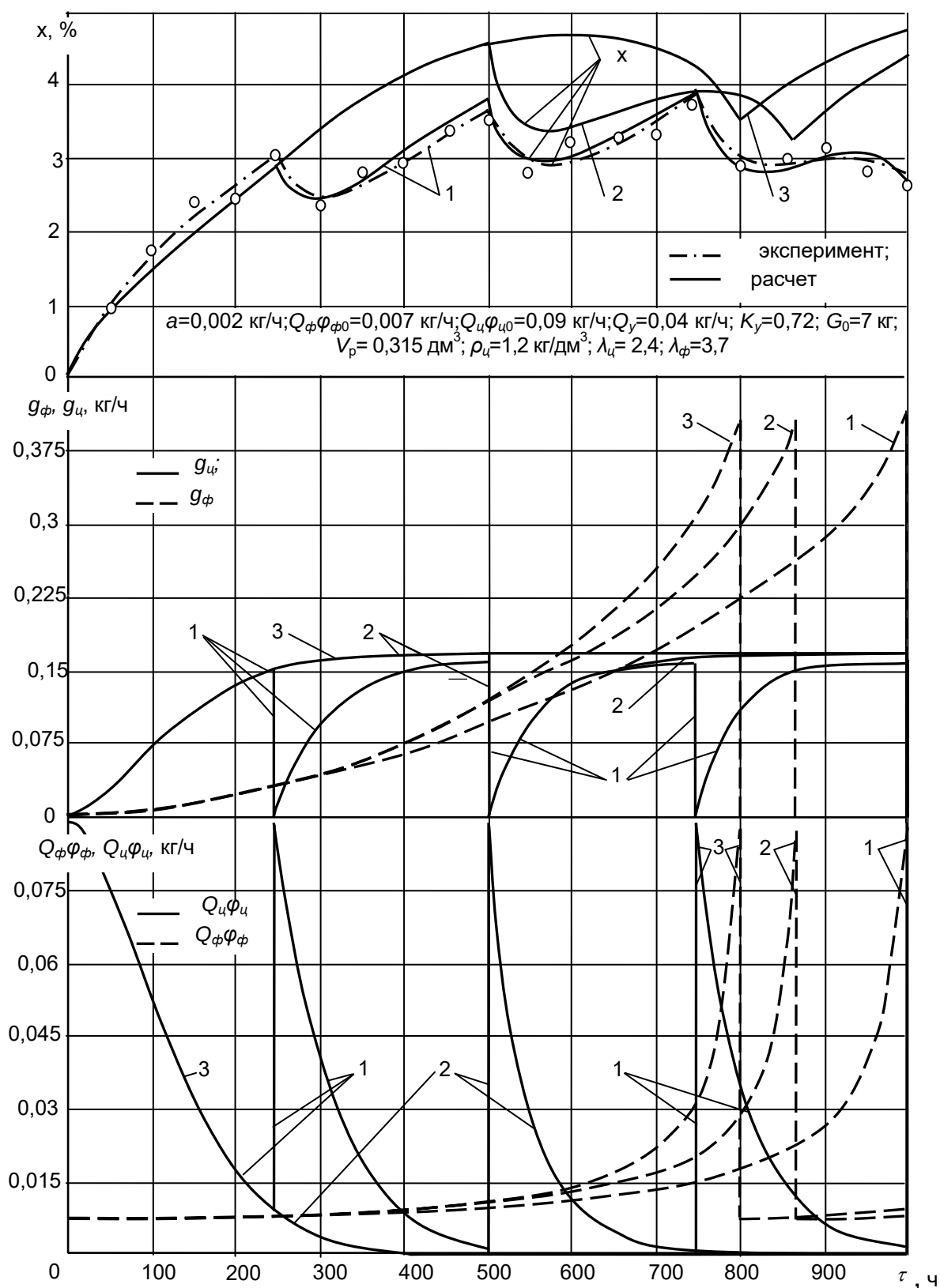


Рисунок 1 – Кинетика загрязнения и очистки ММ в дизеле 2Ч10,5/13; чистка ротора центрифуги 250 (1), 500 (2) и 1000 ч (3)

В реальных условиях эксплуатации двигателя характерным режимом работы СС является периодический долив свежего масла с полной компенсацией угоревшего.

Составим уравнение баланса загрязнений в дифференциальной форме. За время $d\tau$ в масло поступает $ad\tau$ продуктов загрязнения, а удаляется средствами очистки

$$Q_u(x - x_u)d\tau = Q_u\varphi_u x d\tau;$$

$$Q_\phi(x - x_\phi)d\tau = Q_\phi\varphi_\phi x d\tau,$$

и с выгоревшим и утечным маслом

$$K_y Q_y x d\tau,$$

где x_u, x_ϕ – концентрация НРП в центрифуге и фильтре, отн. ед.

Общее количество масла в СС ко времени τ

$$G = G_0 - Q_y \tau, \quad (11)$$

где G_0 – текущее значение объема масла в системе, кг.

Уравнение материального баланса в дифференциальном виде будет иметь вид

$$ad\tau - Q_u\varphi_u x d\tau - Q_\phi\varphi_\phi x d\tau - K_y Q_y x d\tau = G dx. \quad (12)$$

После ряда несложных преобразований получим линейное неоднородное дифференциальное уравнение первого порядка

$$\frac{dx}{d\tau} + (Q_u\varphi_u + Q_\phi\varphi_\phi + K_y Q_y)x = \frac{Q_u\varphi_u + Q_\phi\varphi_\phi + K_y Q_y}{G} \frac{a}{Q_u\varphi_u + Q_\phi\varphi_\phi + K_y Q_y}. \quad (13)$$

Решение методом вариации произвольной постоянной даст окончательное выражение для расчета количества загрязнений в ММ при работе ДВС без долива масла

$$x = x_0 \left(1 - \frac{Q_y \tau}{G_0}\right)^{\frac{Q_u\varphi_u + Q_\phi\varphi_\phi + K_y Q_y}{Q_y}} + \frac{a_x}{K_y Q_y + Q_u\varphi_u + Q_\phi\varphi_\phi} \left[1 - \left(1 - \frac{Q_y \tau}{G_0}\right)^{\frac{Q_u\varphi_u + Q_\phi\varphi_\phi + K_y Q_y}{Q_y}}\right]. \quad (14)$$

Далее, используя соотношения $Q_\phi\varphi_\phi(g_\phi)$, $Q_u\varphi_u(g_u)$ рассчитываем текущие концентрации примесей и интенсивность очистки каждого агрегата. Расчет x ведется циклами продолжительностью $\Delta\tau$, в течение которой эффективность очистки принята неизменной. В конце каждого цикла ведется пересчет показателей $Q_\phi\varphi_\phi$ и $Q_u\varphi_u$ на новый уровень исходя из накопившихся отложений в МО за предыдущий период их работы.

Основу расчета x составляет уравнение (14), трансформированное для периода $\Delta\tau$ из условий, что концентрация нерастворимых примесей в масле в конце предыдущего цикла его работы известна. За каждый цикл рассчитывается прирост отложений в МО и корректируется интенсивность очистки, с которой будет функционировать СС на следующем этапе работы.

Расчет кинетики загрязнения и очистки ММ ведется на основе взаимосвязанных уравнений следующей системы (15)-(20):

$$c_{xij} = c_{xi(j-1)} \left(1 - \frac{Q_y \Delta\tau}{G_0}\right)^{\frac{(Q_\phi\varphi_\phi)_{i(j-1)} + (Q_u\varphi_u)_{i(j-1)} + K_y Q_y}{Q_y}} +$$

$$+ \frac{a_x}{K_y Q_y + (Q_\phi\varphi_\phi)_{i(j-1)} + (Q_u\varphi_u)_{i(j-1)}} \left[1 - \left(1 - \frac{Q_y \Delta\tau}{G_0}\right)^{\frac{(Q_\phi\varphi_\phi)_{i(j-1)} + (Q_u\varphi_u)_{i(j-1)} + K_y Q_y}{Q_y}}\right]; \quad (15)$$

$$c_{xi0} = c_{xi(i-1)n_j} \left(1 - \frac{Q_y \tau_\delta}{G_0}\right); \quad (16)$$

$$(Q_u\varphi_u)_{ij} = Q_u\varphi_{u0} \left[1 - \left(\sum_{i=1}^{n_i-1} \sum_{j=1}^{n_j} \Delta g_{uij} + \sum_{j=1}^{n_j} \Delta g_{uij}\right) \frac{\lambda_u}{V_p \rho_u}\right]; \quad (17)$$

$$(Q_\phi\varphi_\phi)_{ij} = Q_\phi\varphi_{\phi 0} \left[1 - A_g \left(\sum_{i=1}^{n_i-1} \sum_{j=1}^{n_j} \Delta g_{\phi ij} + \sum_{j=1}^{n_j} \Delta g_{\phi ij}\right) \frac{\lambda_\phi}{G_{\phi\phi}}\right]^{-2n_\phi}; \quad (18)$$

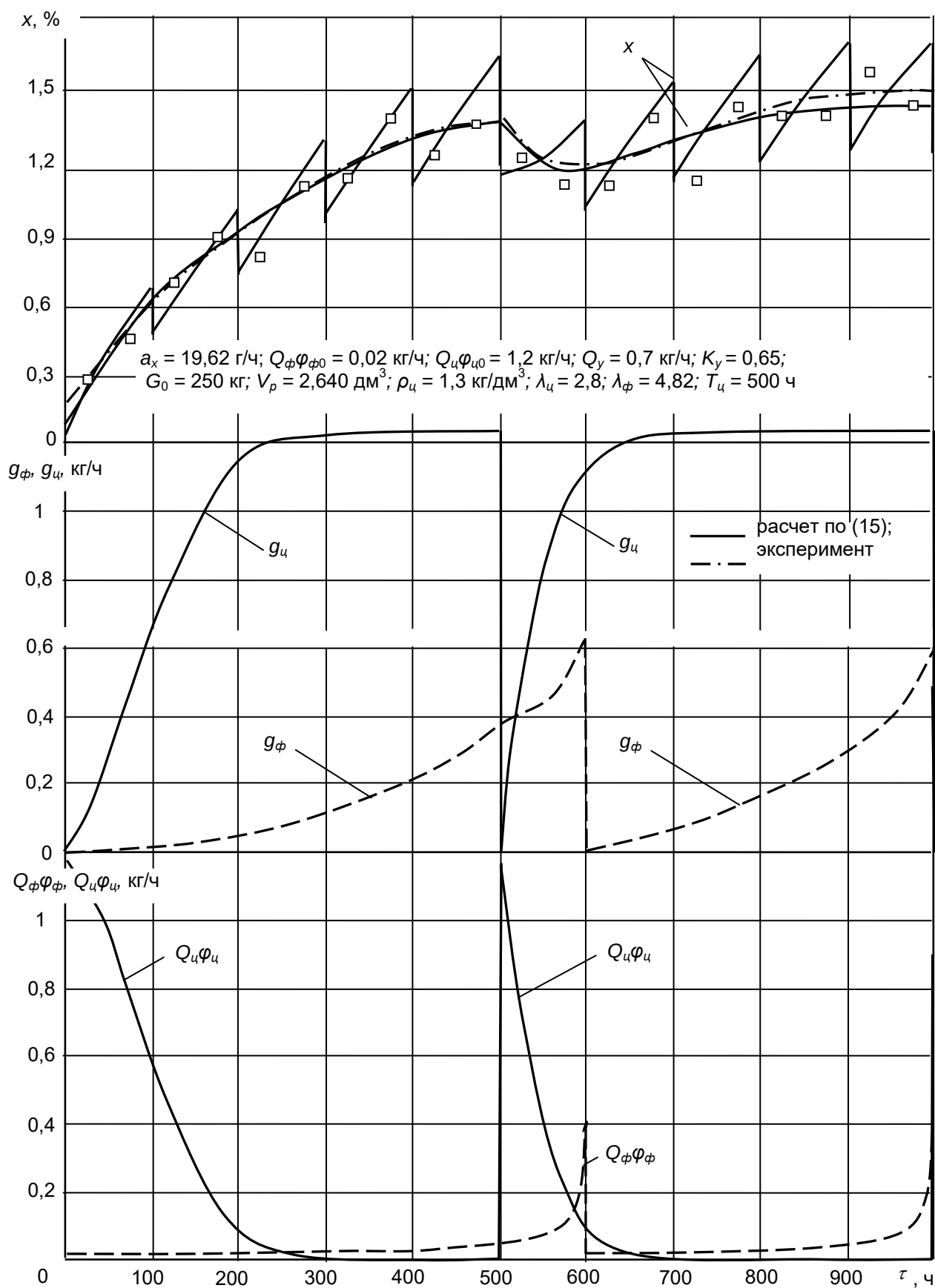


Рисунок 2 – Кинетика загрязнения и очистки моторного масла в дизеле 6ЧН20/28 при периодическом доливе

$$\Delta g_{ij} = \frac{(Q_u \varphi_u)_{i(j-1)}}{(Q_\phi \varphi_\phi)_{i(j-1)} + (Q_u \varphi_u)_{i(j-1)} + K_y Q_y} [a_x \Delta \tau - c_{xij} G_j + c_{xi(j-1)} G_{(j-1)}]; \quad (19)$$

$$\Delta g_{\phi i} = \frac{(Q_\phi \varphi_\phi)_{i(j-1)}}{(Q_\phi \varphi_\phi)_{i(j-1)} + (Q_u \varphi_u)_{i(j-1)} + K_y Q_y} [a_x \Delta \tau - c_{xij} G_j + c_{xi(j-1)} G_{(j-1)}]. \quad (20)$$

где τ_ϕ – продолжительность работы дизеля между доливками масла, ч;
 $\Delta \tau$ – работа МО при закрепленной интенсивности очистки, ч;
 i – номер цикла работы дизеля без долива масла;
 j – номер цикла расчета старения масла;
 n_ϕ – показатель, зависящий от закона фильтрования.

Данная система уравнений позволяет воспроизвести кинетику загрязнения ММ и его очистки с минимальной погрешностью. Адекватность результатов расчета экспериментальным данным при ее использовании достигается высокоточной идентификацией начальной интенсивности очистки фильтра и центрифуги и распределения загрязнений между ними. Связанно это с тем, что баланс загрязнений маслоочистителей не постоянен за весь период работы масла в системе, а разбит на подциклы $\Delta \tau$.

При условии очистки ротора центрифуги через 250 ч совпадение расчетных и экспериментальных зависимостей полное.

Возможности разработанной упрощенной методики расчета накопления нерастворимых примесей в масле М10Д₂ЦЛ20 (ГОСТ 12337-84) дизеля Vasa 20 (6ЧН20/28) изображены на рисунке 2. Сходимость результатов расчета с данными натурных испытаний также очень хорошая. Все они находятся в доверительных пределах инструментального определения показателя x .

Анализ зависимостей $x(\tau)$ (рисунки 1 и 2) показывает, что уменьшение концентрации x в значительной степени обусловлено чисткой ротора центрифуги. В нижней части рисунка 1 и в средней рисунка 2 представлены зависимости для массы нерастворимых примесей, удаляемых ЦО и фильтром (при периодичности чистки ротора центрифуги через 250, 500 ч). Иллюстрации подтверждают необходимость частой чистки ротора, что также сказывается на величине g_ϕ и, следовательно, на сроке службы фильтрующих элементов.

Анализ зависимостей по g_u показывает значительное влияние режима обслуживания ЦО на уровень загрязнения масла [6, 7]. Если ротор центрифуги не очищать от отложений в течение длительного периода, то концентрация нерастворимых примесей в масле повысится до значений, характерных для случая использования в СС только одного фильтра.

Выводы. Исследованы основные закономерности загрязнения масла НРП при переменной интенсивности его очистки разными по принципу действия очистителями для условий непрерывного и периодического долива ММ в СС дизеля.

Реализован подход, позволяющий вести совместную оценку влияния центрифуг и фильтров на концентрацию нерастворимых загрязнений в СС дизеля при противоположном действии на их эффективность накопления отложений в роторе и на фильтрующих элементах.

По результатам расчета на примере дизелей 2Ч10,5/13 и 6ЧН20/28 сделано заключение о необходимости чистки ротора центрифуги от накопившихся отложений через 250 ч, что позволяет снизить накопление НРП в СС и продлить срок службы фильтрующих элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кича, Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях: монография / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин. -Владивосток: Мор. гос. ун-в., 2011. -372 с.
- 2 Кича, Г.П. Теоретическое исследование процесса загрязнения масла в ДВС с комбинированными системами очистки / Г.П. Кича, П.П. Кича // -Двигателестроение. -1980. -№12. -С. 23-27.
- 3 Кича, Г.П. Повышение эффективности тонкой очистки моторного масла в судовых тронковых дизелях комбинированным фильтрованием: монография / Г.П. Кича, Н.Н. Таращан, А.В. Надежкин. -

REFERENCES

- 1 Kicha G.P., Perminov B.N., Nadezhkin A.V. Resource-conserving oil consuming in marine diesels [Resursosberegayushchee masloispol'zovanie v sudovykh dizelyakh]. Vladivostok: Maritime St. Univ. Publ. 2011. 372 p.
- 2 Kicha G.P., Kicha P.P. Theoretical study of oil contamination process in ICE with combined cleaning systems [Teoreticheskoe issledovanie protsessy zagryazneniya masla v DVS s kombinirovannymi sistemami ochistki]. Dvigatelistroenie. 1980. No. 12. pp. 23-27.
- 3 Kicha G.P., Tarashchan N.N., Nadezhkin A.V. Improvement of fine oil purification in marine trunk-type diesels via new combined filtering systems [Povyshenie effektivnosti tonkoi ochistki motornogo masla v sudovykh tronkovykh dizelyakh kombinirovannym fil'trovaniem]. Vladivostok. Maritime St. Univ. 2015. 175 p.

Владивосток: Мор. гос. ун-в., 2015. -175 с.

4 Кича, Г.П. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания / Г.П. Кича // -Химия и технология топлив и масел. -1985. -№2. -С. 28-30.

5 Кича, Г.П. Моделирование изнашивания судовых тронковых дизелей при использовании унифицированных моторных масел / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин, С.А. Завадский // -Трение и износ. -2004. -Т.25. -№6. -С. 635-641.

6 Кича, Г.П. Триботехнические характеристики нерастворимых продуктов загрязнения моторных масел и их влияние на износ двигателя / Г.П. Кича, Г.М. Липин, С.П. Полоротов // -Трение и износ. -1986. -Т.7. -№6. -С. 1068-1078.

7 Кича, Г.П. Оптимизация режимов комбинированной очистки моторного масла в судовых дизелях методами вариационного исчисления / А.В. Надежкин, Г.П. Кича, Л.А. Семенюк // Морские интеллектуальные технологии. -2017. -№3. -С. 93-101.

4 Kicha G.P. Oil purification in internal combustion engines [Ochistka masla v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya]. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel*. 1985. No. 2. pp. 28-30.

5 Kicha G.P., Perminov B.N., Nadezhkin A.V., Zavadskii S.A. Modeling the wear of ship trunk diesels using universal motor oils [Modelirovanie iznashivaniya su-dovoykh tronkovykh dizelei pri ispol'zovanii unifitsirovannykh motornykh masel]. *Friction and wear [Trenie i iznos]*. 2004. Vol. 25. No. 6. pp. 635-641.

6 Kicha G.P., Lipin G.M., Polorotov S.P. Tribotechnical characteristics of insoluble oil contaminants and their effect on engine wear [Tribotekhnicheskie kharakteristiki nerastvorimyykh produktov zagryazneniya motornykh masel i ikh vliyanie na iznos dvigatelya]. *Friction and wear [Trenie i iznos]*. 1986. Vol. 7. No. 6. pp. 1068-1078.

7 Kicha G.P., Nadezhkin A.V., Semenyuk L.A. Optimization of combined oil purification modes in marine diesel engines by calculus of variation methods [Optimizatsiya rezhimov kombinirovannoi ochistki motornogo masla v sudovoykh dizelyakh metodami variatsionnogo ischisleniya]. *Marine intellectual technologies [Morskie intellektual'nye tekhnologii]*. 2017. No. 3. pp. 93-101.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ресурсосберегающее маслоиспользование, моторное масло, комбинированное фильтрование, изнашивание двигателя

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кича Геннадий Петрович, докт. техн. наук, профессор МГУ им. адм. Г.И. Невельского
Семенюк Людмила Анатольевна, аспирант МГУ им. адм. Г.И. Невельского
Кича Павел Петрович, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, МГУ им. адм. Г.И. Невельского
690087, г.Владивосток, ул.Луговая, 52Б, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЩЕЛЕВОГО ФИЛЬТРОВАНИЯ МОТОРНОГО МАСЛА ПРИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ДИЗЕЛЯХ

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

Г.П. Кича, А.В. Надежкин, Л.А. Семенюк

MOTOR OIL METAL EDGE FILTERING PROCESS MODELING AND ITS USE IN DIESEL ENGINES

Maritime State University named after admiral G.I.Nevelskoi (MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)
50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia

Gennadii P. Kicha (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

Andrei V. Nadezhkin (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

Lyudmila A. Semenyuk (Graduate student of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

ABSTRACT: The regularities of pore overgrowing are determined. Authors propose a simple method for estimation of the current state of metal edge filter pore structure through the initial pore size distribution and the dispersed phase sedimentation speed in the slots. It may be variable in the time of operation of the cleaner, may depend on the pressure drops across the filter and the thickness of the precipitate.

Keywords: metal edge filter, motor oil, filter pores overgrowing speed, precipitate, filter lifespan

Установлены закономерности зарастания пор отложениями. Предложен простой метод учета текущего состояния поровой структуры щелевого фильтра через начальное распределение пор по размерам и скорость оседания дисперсной фазы в щелях, которая может быть переменной по времени работы очистителя, зависеть от перепада давления на фильтре и толщины осадка.

При очистке моторного масла (ММ), функционирующего в системе смазки двигателя внутреннего сгорания важно учесть влияние накопления отложений в фильтре на эффективность его очистки. Существующие кинетические модели этого процесса разработаны только для фильтровальных материалов (ФМ) с нерегулярной поровой структурой [1-3]. Однако существует класс фильтрующих элементов (ФЭ) щелевого типа, при использовании которых, не учитывают влияние зарастания щелей отложениями на эффективность очистки ММ.

Этот пробел в теории фильтрования сложных многофазных дисперсных систем ликвидирован разработкой кинетической модели очистки ММ щелевыми фильтрами (ЩФ) проволочного или дискового типов, у которых зазор между рабочими элементами может быть распределен по любому закону и по мере работы очистителя зарастает отложениями. При этом учитываются особенности процесса фильтрования через поры рассматриваемой формы и накопление на проволоках или дисках отфильтровываемых нерастворимых загрязнений

вместе с адсорбированными на них смолами и асфальтенами, обладающими полярной активностью.

Вероятностный подход к оценке геометрии фильтровальной щели, учет адгезионного захвата дисперсной фазы (ДФ) и гидродинамической обстановки при фильтровании суспензии дает хорошее приближение расчетных зависимостей по фракционному коэффициенту отсева к экспериментальным данным. Причиной нестабильности фильтровальных характеристик ЩФ в эксплуатации является перемещение и деформация образующих щель проволок, и в том числе накопление на них отложений. Нестабильность размера фильтровальной щели может быть вызвана также особенностями конструкции и технологии производства фильтрующих элементов.

Для ЩФ характерно ламинарное течение суспензии между двумя плоскостями, расстояние между которыми δ . Поток фильтруемой жидкости в соответствии с уравнениями Стокса [1] здесь может рассматриваться при граничных условиях $v = 0$, когда $y = \pm \delta/2$

$$\nabla^2 v = \frac{\partial^2 v}{\partial^2 y} = -\frac{\Delta p_\phi}{\mu_m h_\phi}, \quad (1)$$

где v — локальная скорость потока;
 y — координата от центра щели перпендикулярно потоку;
 μ_m — динамическая вязкость масла;
 h_ϕ — толщина фильтровальной перегородки;
 Δp_ϕ — перепад давлений на ФЭ;
 ∇^2 — лапласиан щели.

Решение представленного дифференциального уравнения при принятии ряда допущений, которые приведены в работе [1] возможно в элементарных функциях. В этом случае распределение скорости потока в щели соответствует следующей зависимости

$$v = -\frac{\Delta p_\phi \delta^2}{8\mu_m h_\phi} \left[1 - \left(\frac{2y}{\delta} \right)^2 \right]. \quad (2)$$

Распределение скорости по высоте щели представляется квадратичной параболой. Расход суспензии, отнесенный к единице длины щели, на участке от $-y$ до $+y$ равен

$$Q_\delta = \frac{\Delta p_\phi \delta^2}{8\mu_m h_\phi} \left(2y - \frac{8y^3}{3\delta^2} \right). \quad (3)$$

Расход суспензии через щель высотой δ в соответствии с (3) равен $Q_\delta = \Delta p_\phi \delta^3 / 12\mu_m h_\phi$. Фракционный коэффициент отсева для ФЭ, у которого щели имеют одинаковый размер, запишется в виде

$$\varphi_{d\delta} = \frac{Q_d}{Q_\delta} = \frac{3}{2} \left(\frac{\varepsilon_d d}{\delta} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_d d}{\delta} \right)^3, \quad (4)$$

где Q_d — поток суспензии по контуру щели, из которой отфильтровываются частицы ДФ диаметра d при прохождении загрязненного ММ через фильтр;
 ε_d — безразмерная координата отсева.

Координата ε_d рассчитывается на основе баланса сил и моментов, действующих на частицу ДФ в потоке суспензии через фильтровальную щель. Она определяется по методике, изложенной в [1, 2]. Физический смысл ее состоит в определении в долях d координаты у предельной траектории частицы, находясь на которой она обязательно задержится при прохождении через фильтровальную щель.

Безразмерная координата отсева рассчитывается по результатам идентификации адгезионной, химмотологической и седиментационной групп отсева, действующих на частицу [1, 2]. В упрощенном виде этот показатель можно определить по формуле

$$\varepsilon_d = 0,54\delta^{0,26} N_{Ad}^{0,18} 0,82^\Pi Re_\delta^{1,42}, \quad (5)$$

где N_{Ad} — величина адгезионной группы отсева [1];
 Re_δ — критерий Рейнольдса при течении жидкости через щель высотой δ ;
 Π — содержание в масле моюще-диспергирующих присадок, %.

В случае аппроксимации $f(\delta)$ распределением Вейбулла, выражение для фракционно-го коэффициента отсева ЩФ имеет вид

$$\varphi_{d\phi} = \frac{\int_{\delta_{\min}}^{\delta_{\max}} \left[\frac{3}{2} \left(\frac{\varepsilon_d d}{\delta} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_d d}{\delta} \right)^3 \right] \delta^{2+p_\delta} \exp \left[- \left(\frac{\delta}{b_\delta} \right)^{p_\delta} \right] d\delta}{\int_{\delta_{\min}}^{\delta_{\max}} \delta^{2+p_\delta} \exp \left[- \left(\frac{\delta}{b_\delta} \right)^{p_\delta} \right] d\delta}, \quad (6)$$

где b_δ, p_δ – параметры масштаба и формы распределения $f(\delta)$.

Интегрирование выражения (6) осуществляется численными методами с ограничением $\varphi_{d\phi} = 1$ при $d \geq \delta$. Если $p_\delta = 2$, то интегрирование (6) в интервале d от нуля до бесконечности дает результат

$$\varphi_{d\phi} = \left(\frac{\varepsilon_d d}{\delta} \right)^2 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left[\frac{d}{b_\delta} + \left(\frac{2}{3} - \varepsilon_d^2 + \frac{\varepsilon_d^2}{3} \right) \left(\frac{d}{b_\delta} \right)^3 \right] \exp \left[- \left(\frac{d}{b_\delta} \right)^2 \right] + \left[1 - \left(\frac{\varepsilon_d d}{\delta} \right)^2 \right] \operatorname{erf} \frac{d}{b_\delta}. \quad (7)$$

При задании распределения частиц ДФ по диаметру дифференциальной функции $F(d)$ полнота отсева ЩФ может быть найдена интегрированием выражения

$$\varphi_\phi = \int_0^{d_{\max}} \varphi_{d\phi} F(d) dd. \quad (8)$$

На очистительную способность фильтра при функционировании в системы смазки (СС) дизеля влияют многие факторы. Прежде всего, это исходное распределение щелей по размерам ЩФ, режим фильтрования, дисперсный состав загрязнителя и многое другое. По мере накопления отложений на ФЭ вследствие зарастания щелей отфильтрованными продуктами эффективность очистки возрастает.

Разбивкой периода фильтрования τ на циклы продолжительностью τ_i , в каждом из которых основные параметры рассматриваемого процесса, такие как период давления на фильтре $\Delta p_{\phi(i-1)}$, высота щели $\delta_{(i-1)}$, толщина фильтровальной перегородки $h_{\phi(i-1)}$ с учетом отложений, концентрация нерастворимых примесей $c_{(i-1)}$ и средний диаметр $m_{d(i-1)}$ частиц ДФ остаются постоянными величинами, получим выражение для расчета относительного изменения размера $(\Delta\delta/\delta)_n$ щелей вследствие их зарастания за n циклов фильтрования

$$\left(\frac{\Delta\delta}{\delta} \right)_n = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_{(i-1)}^3 m_{d(i-1)}^2 \rho_m \lambda_\phi c_{(i-1)} \tau_i}{2\pi \mu_m \delta_{\phi(i-1)} h_{\phi(i-1)}^2 (1 + \beta_{\phi(i-1)}) \rho_\phi} \left[1 - \frac{m_{d(i-1)}}{2\delta_{(i-1)}} \operatorname{erf} \frac{\sqrt{\pi} \delta}{2m_{d(i-1)}} - \left(\frac{1}{2} - \frac{\pi \delta_{(i-1)}}{24 m_{d(i-1)}^2} \right) \exp \left(- \frac{\pi \delta_{(i-1)}^2}{4 m_{d(i-1)}^2} \right) \right], \quad (9)$$

где $\beta_{\phi(i-1)}$ – доля загрязнений, накапливающихся на поверхности ФЭ;

λ_ϕ – отношение массы отложений к количеству содержащихся в них нерастворимых продуктов;

ρ_m – плотность масла.

Реализация зависимости (9) возможна при раскрытии функциональных выражений для $\beta_{\phi(i-1)}$, $h_{\phi(i-1)}$, $\Delta p_{\phi(i-1)}$. Первый из показателей характеризует баланс отложений на поверхности и внутри ФЭ. Его значение находится по данным статистической обработки большого числа фильтровальных экспериментов

$$\beta_{\phi i} = B_\phi (1 - \varepsilon_{mi})^{0.42} \left(\frac{m_{di}}{m_{\delta i}} \right)^{0.12} \operatorname{Re}_{\delta i}^{0.08}. \quad (10)$$

В выражении (10) коэффициент B_ϕ зависит от режима фильтрования. Для ЩФ он находится в диапазоне 0,3-12. Показатель ε_{mi} характеризует среднюю просветность щелей, на i -ом цикле фильтрования.

Средняя текущая просветность щелей фильтра определяется по выражению

$$\varepsilon_{mi} = \varepsilon_{m0} (1 - g_{m\delta i}) = \varepsilon_{m(i-1)} (1 - a_{m\delta i} \tau_i),$$

где $a_{m\delta i}$ – средняя относительная скорость зарастания отложениями щелей на i -ом цикле фильтрования;

$g_{m\delta i}$ – относительное зарастание щелей отложениями в конце i -го периода.

Толщина фильтровальной перегородки с учетом накопившихся на них отложений в конце i -го цикла фильтрования равна

$$h_{\phi i} = \frac{h_{\phi 0}}{1 - \frac{\beta_{\phi(i-1)} \varepsilon_{m0} g_{m\delta i}}{1 - \varepsilon_{mi}}} = \frac{h_{\phi(i-1)}}{1 - \frac{\beta_{\phi(i-1)} \varepsilon_{m(i-1)} a_{m\delta i} \tau_i}{1 - \varepsilon_{mi}}}.$$

Сомножитель выражения (9) в квадратных скобках определяет влияние размеров частиц загрязнителя и щелей на их закупорку (блокировку). Учет этого фактора не обязателен для дисперсных систем, у которых $m_{\delta i} \leq 2m_{\delta i}$. В этом случае выражение в скобках принимают равным единице.

В условиях фильтрования суспензии, имеющей дисперсный состав ДФ в широком диапазоне размеров частиц, для расчета $(\Delta\delta/\delta)_n$ предпочтительнее использовать формулу

$$\begin{aligned} \left(\frac{\Delta\delta}{\delta}\right)_n = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_{\phi(i-1)} \delta_{(i-1)}^3 \rho_m \lambda_{\phi} c_{(i-1)} \tau_i}{12 \mu_m \delta h_{\phi(i-1)}^2 \rho_{\phi}} & \left\{ \int_0^{d_{\max}} \frac{3}{2} \left(\frac{\varepsilon_d d}{\delta}\right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_d d}{\delta}\right)^3 - \right. \\ & \left. - \left[1 - \sqrt{1 - \frac{6 \beta_{\delta(i-1)} \frac{3}{2} \left(\frac{\varepsilon_d d}{\delta_{(i-1)}}\right)^2 \left(1 - \frac{\varepsilon_d d}{3 \delta_{(i-1)}}\right)}{\left(1 + \beta_{\delta(i-1)}\right)^2}} \right] \frac{1 + \beta_{\delta(i-1)}}{2} \right\} F_{(i-1)}(d) \delta d. \end{aligned} \quad (11)$$

Интегрирование (11) на участке $d \geq \delta_{(i-1)}$ осуществляется с ограничением

$$\varphi_{d\delta(i-1)} = \frac{3}{2} \left(\frac{\varepsilon_d d}{\delta_{(i-1)}}\right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_d d}{\delta_{(i-1)}}\right)^3.$$

Текущее значение параметра δ_i в процессе зарастания определяется по формуле $\delta_i = \delta [1 - (\Delta\delta/\delta)_i]$. Физическая трактовка слагаемых, входящих в суммы (9) и (11), аналогична для таковой капиллярной модели [1]. Каждое из них, если выделить τ_i , характеризует относительную приведенную скорость зарастания щели δ отложениями на i -ом цикле фильтрования. Слагаемые включают коэффициент δ_i/δ приведения интенсивности отсева к начальному размеру щели.

Просветность ε_{mi} ЩФ и толщину $h_{\phi i}$ с учетом отложений следует находить в конце каждого цикла фильтрования по зарастанию щели, размер которой устанавливается по нормированной функции распределения $\bar{f}_i(d)$ через математическое ожидание $m_{\delta i}$. Так как эта величина переменна, то ε_{mi} и $h_{\phi i}$ предпочтительно рассчитывать по правой части приведенных для них зависимостей. На каждом цикле просветность и толщину необходимо определять на щелях, зарастание которых формирует указанные выше параметры характерные для всей поверхности фильтрования. При невысокой степени зарастания ЩФ расчеты ε_{mi} и $h_{\phi i}$ допустимо выполнять на щелях размера m_{δ} . В таком случае проще использовать левые части зависимостей для ε_{mi} и $h_{\phi i}$.

Эксплуатационные характеристики $\Delta p_{\phi i}$ и $q_{\phi i}$ ЩФ предлагается рассчитывать через начальную и текущую нормированную функции распределения щелевой структуры ФМ

$$\Delta p_{\phi i} = \Delta p_{\phi 0} \frac{h_{\phi i} \int_0^{\delta_{\max}} \delta^3 \bar{f}_0(\delta) \delta d}{h_{\phi 0} \int_0^{\delta_{\max}} \delta^3 \bar{f}_i(\delta) \delta d}; \quad (12)$$

$$q_{\phi i} = q_{\phi 0} \frac{h_{\phi i} \int_0^{\delta_{\max}} \delta^3 \bar{f}_i(\delta) d\delta}{h_{\phi 0} \int_0^{\delta_{\max}} \delta^3 f_0(\delta) d\delta}, \quad (13)$$

где $q_{\phi 0}$, $q_{\phi i}$ – начальный и на i -ом цикле фильтрования линейный, приходящийся на единицу длины щели, поток суспензии.

По зависимостям (9)-(13) можно определить не только закономерности зарастания щелей отложениями, но и распределение их по размерам для любого момента времени. По функциям $\bar{f}_r(\delta)$ и $\bar{f}_i(\delta)$ на основе выражений (6)-(8) легко вычислить текущие фракционные коэффициенты и полноту отсева. При нахождении $\varphi_{d\phi}$ и φ_{ϕ} нужно применять численные методы интегрирования. При усложненной гидродинамической обстановке, низких адгезионных свойствах ФМ, ослаблении адгезионного захвата из-за отложений в порах, вторичном уносе частиц загрязнений расчет $\varphi_{d\tau}$ и φ_{τ} ведется по рекомендациям [1, 4] с учетом зависимости ε_d от степени заполнения щелей отложениями [5, 6].

Переход от начального распределения пор к текущему осуществляется через соотношение

$$\bar{f}_r(\delta) = f_0 \left(\frac{\delta}{1 - \frac{\Delta\delta}{\delta}} \right) = f_0 \left[\frac{\delta}{1 - \frac{\Delta\delta}{\delta}(\delta, \Delta p_{\phi}, c, h_{\phi}, \beta_{\phi}, \tau)} \right]. \quad (14)$$

Функциональная связь $\frac{\Delta\delta}{\delta}(\delta, \Delta p_{\phi}, c, h_{\phi}, \beta_{\phi}, \tau)$, как видно из приведенных выше уравнений, сложна. Кроме того, она зависит от d , m_d и $F(d)$, то есть от дисперсного состава загрязнителя. На нее влияют параметры μ_m , ρ_m , ρ_{ϕ} и λ_{ϕ} , которые в процессе фильтрования не всегда остаются постоянными. Однако, если пренебречь изменением некоторых из них, можно получить простые зависимости для $\bar{f}_r(\delta)$. Например, для полнопоточного фильтрования ММ в силу постоянства скорости фильтрации при средних за срок службы ФЭ значениях Δp_{ϕ} , δ , β_{ϕ} и h_{ϕ} , можно принять относительную скорость зарастания щелей $\bar{a}_{\delta}$ постоянной величиной. Тогда для распределения Вейбулла текущая характеристика поровой структуры ЩФ имеет вид

$$\bar{f}_r(\delta) = \frac{p_{\delta} \delta^{p_{\delta}-1}}{b_{\delta}^{p_{\delta}} (1 - \bar{a}_{\delta} \tau)^{p_{\delta}}} \exp \left[- \left(\frac{\delta}{b_{\delta} (1 - \bar{a}_{\delta} \tau)} \right)^{p_{\delta}} \right]. \quad (15)$$

Представление щелевых характеристик ЩФ в функции от времени его работы осуществляли в соответствии с (14) через начальную функцию распределения $f_0(\delta)$ с использованием (9) или (11). При отфильтровывании тонкодисперсных загрязнителей допустимо применение упрощенной зависимости для $(\Delta\delta/\delta)_n$, приведенной к начальному размеру щели

$$\left(\frac{\Delta\delta}{\delta} \right)_n = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_{\phi(i-1)} m_{d(i-1)}^2 \rho_m \lambda_{\phi} c_{(i-1)} \tau_i}{2\pi \mu_m h_{\phi(i-1)}^2 (1 + \beta_{\phi(i-1)} \rho_{\phi})} (1 - \bar{g}_{\delta(1-i)}). \quad (16)$$

Для тонкодисперсной фазы загрязнения

$$\bar{a}_{\delta mi} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_{\phi(i-1)} m_{d(i-1)}^2 \rho_m \lambda_{\phi} c_{(i-1)}}{2\pi \mu_m h_{\phi(i-1)}^2 (1 + \beta_{\phi(i-1)} \rho_{\phi})}.$$

В этом случае уменьшение площади щели на каждом цикле фильтрования равно $\delta g_{\delta i} = \bar{a}_{\delta mi} \tau_i$, рассчитывается через скорость зарастания щели среднего размера.

Реализация кинетической модели фильтрования применительно к фильтровальным сеткам (ФС), у которых наружный задерживающий участок в форме щели формируется проволочками утка, при отфильтровывании крупнодисперсного загрязнителя ($S_{y0} = 1,05 \text{ м}^2/\text{г}$) позволила проследить за изменением основных показателей очистки, таких как полнота отсева φ_{ϕ} , скорость отфильтровывания нерастворимых продуктов a_{ϕ} , масса их g_{ϕ} на ЩФ в

функции от τ (рисунок 1 и 2). Процесс фильтрования взаимосвязан по гидравлике и массопереносу, хорошо согласуется с изменением щелевой структуры сетки, представленной параметром b_δ и просветностью ε_m ФС. Адекватность расчетной модели проверена по функции отклика и подтверждена экспериментально [4, 5].

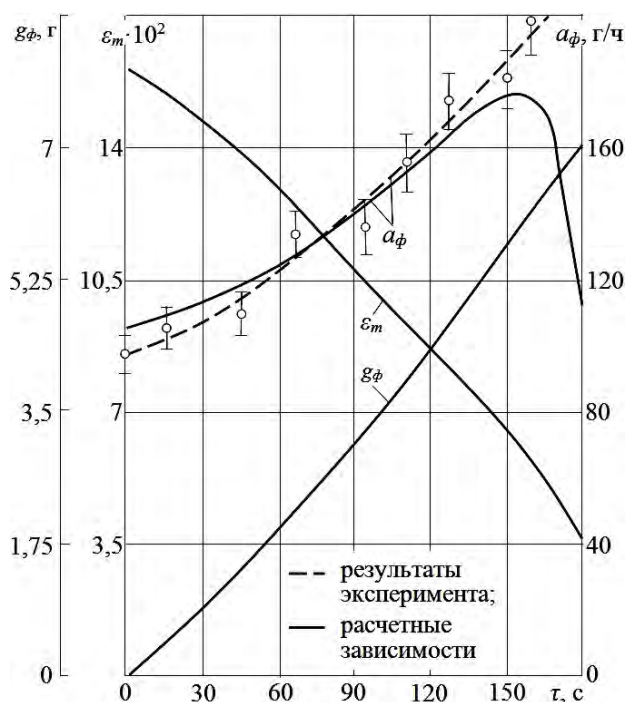


Рисунок 1 – Кинетика фильтрования загрязненного кварцем ММ сеткой ОПВ-465

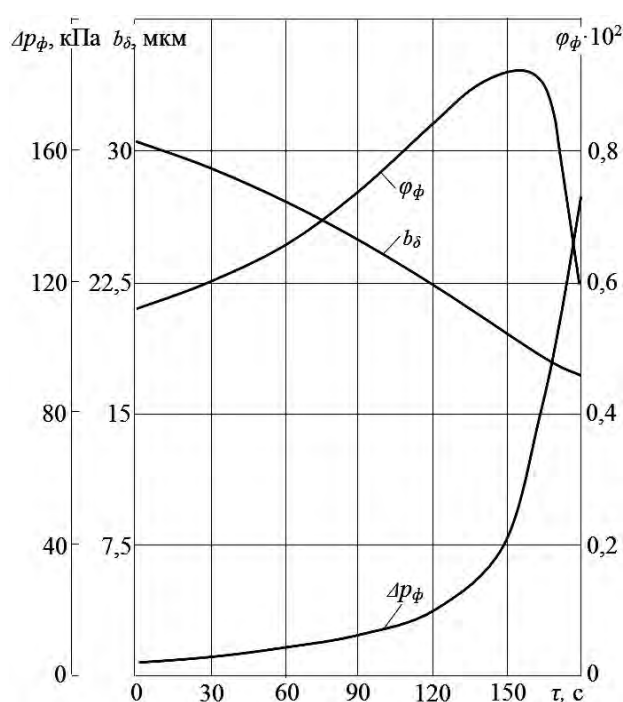


Рисунок 2 – Зависимость характеристик ЩФ от времени его работы

Характеристики ФС по коэффициенту отсева с накоплением отложений улучшаются (рисунок 2). Крутизна $\varphi_{d\phi}(d)$ -кривых с ростом Δp_ϕ увеличивается. При перепаде давления $\Delta p_\phi = 80$ кПа фильтр переходит на работу в частично поточном режиме, что приводит к резкому уменьшению показателей φ_ϕ и a_ϕ .

Существенное влияние на очистительную способность и грязеемкость ФС оказывает их структура, дисперсный состав загрязнителя и режим фильтрования. За период 160 с из-за накопления отложений φ_ϕ и a_ϕ увеличивается почти в 1,8 раза. При этом параметр масштаба b_δ распределения щели по размеру δ за период работы ФС в полнопоточном режиме уменьшился с 31 до 18 мкм, а коэффициент просветности с 0,16 до 0,05 (рисунок 1 и 2).

Совпадение расчетных зависимостей с экспериментальными в практике фильтрования подтверждено на режиме максимальной грязеемкости в условиях полнопоточной очистки. Соответствие кинетических моделей для рассматриваемых состояний фильтровальной сетки по показателям g_ϕ и φ_ϕ хорошее. Некоторое несовпадение экспериментальных и расчетных значений a_ϕ на участке фильтрования $\tau = 150-180$ с обусловлен тем, что перепускной клапан фильтра был отрегулирован на полное открытие при перепаде давлений 140 кПа. «Подрыв» его произошел при $\Delta p_\phi = 80$ кПа. При этом расчетная доля фильтруемого масла, на участке работы ЩФ с перепуском суспензии через клапан была занижена.

Дальнейшее совершенствование методики расчета эффективности ЩФ в условиях накопления отложений в щелях и на наружной поверхности дисков и проволонок состоит в более полном учете блокировки щелей крупными частицами ДФ, которые уменьшают рабочую поверхность фильтрования. При фильтровании суспензии с крупнодисперсным загрязнителем интенсивность блокировки щелей может в несколько раз превышать зарастание их отложениями. Расчетная методика должна учитывать этот аспект выхода части поверхности ЩФ из процесса фильтрования.

Выводы. Доказана независимость относительной скорости зарастания пор отложения-

ми от их размера при фильтровании мелкодисперсного загрязнителя.

Реализация обобщенных кинетических моделей очистки ММ позволяет:

– рассчитать эффективность и кинетику процесса при любых режимах фильтрования и состояний ДФ;

– определить переменную скорость удаления загрязнений из нефтепродуктов с учетом их качественно-количественных показателей и свойств дисперсионной среды;

– прогнозировать для различных условий функционирования ЩФ периодичность их регенерации, грязеемкость и гидравлические характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кича, Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях: монография / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин. -Владивосток: Мор. гос. ун-в., 2011. -372 с.

2 Кича, Г.П. Математическое моделирование функционирования маслоочистительных комплексов двигателей внутреннего сгорания / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.А. Калиберда // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2004. -№1. -С. 110-122.

3 Кича, Г.П. Оптимизация режимов комбинированной очистки моторного масла в судовых дизелях методами вариационного исчисления / А.В. Надежкин, Г.П. Кича, Л.А. Семенов // Морские интеллектуальные технологии. -2017. -№3. -С. 93-101.

4 Кича, Г.П. Моделирование изнашивания судовых тронковых дизелей при использовании унифицированных моторных масел / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин, С.А. Завадский // -Трение и износ. -2004. -Т.25. -№6. -С. 635-641.

5 Кича, Г.П. Триботехнические характеристики нерастворимых продуктов загрязнения моторных масел и их влияние на износ двигателя / Г.П. Кича, Г.М. Липин, С.П. Полоротов // Трение и износ. -1986. -Т.7. -№6. -С. 1068-1078.

6 Кича, Г.П. Моделирование эффективности очистки моторного масла судовых дизелей с учетом зарастания пор фильтровального материала отложениями / Г.П. Кича, Н.Н. Тарашан, А.В. Надежкин // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2014. -№2. -С. 235-242.

REFERENCES

1 Kicha G.P., Perminov B.N., Nadezhkin A.V. Resource-conserving oil consuming in marine diesels [Resursosberegayushchee masloispol'zovanie v sudovykh dizelyakh]. Vladivostok: Maritime St. Univ. Publ. 2011. 372 p.

2 Kicha G.P., Perminov B.N., Kaliberda A.A. Mathematical modeling of oil purification complexes operation in internal combustion engines [Matematicheskoe modelirovanie funktsionirovaniya masloochistitel'nykh kompleksov dvigatelei vnutrennego sgoraniya]. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2004. No. 1. pp. 110-122.

3 Kicha G.P., Nadezhkin A.V., Semenyuk L.A. Optimization of combined oil purification modes in marine diesel engines by calculus of variation methods [Optimizatsiya rezhimov kombinirovannoi ochistki motornogo masla v sudovykh dizelyakh metodami variatsionnogo ischisleniya]. Marine intellectual technologies [Morskie intellektual'nye tekhnologii]. 2017. No. 3. pp. 93-101.

4 Kicha G.P., Perminov B.N., Nadezhkin A.V., Zavadskii S.A. Modeling the wear of ship trunk diesels using universal motor oils [Modelirovanie iznashivaniya su-dovykh tronkovykh dizelei pri ispol'zovanii unifikirovannykh motornykh masel]. Friction and wear [Trenie i iznos]. 2004. Vol. 25. No. 6. pp. 635-641.

5 Kicha G.P., Lipin G.M., Polorotov S.P. Tribotechnical characteristics of insoluble oil contaminants and their effect on engine wear [Tribotekhnicheskie kharakteristiki nerastvorimyykh produktov zagryazneniya motornykh masel i ikh vliyanie na iznos dvigatelya]. Friction and wear [Trenie i iznos]. 1986. Vol. 7. No. 6. pp. 1068-1078.

6 Kicha G.P., Tarashchan N.N., Nadezhkin A.V. Modeling the efficiency of oil purification in marine diesel engines considering filter media pores overgrowing by sediments [Modelirovanie effektivnosti ochistki motornogo masla sudovykh dizelei s uchetom zarastaniya por fil'troval'nogo materiala otlozheniyami]. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2014. No. 2. pp. 235-242.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: щелевой фильтр, моторное масло, скорость зарастания фильтра, отложения, срок службы фильтра

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кича Геннадий Петрович, докт. техн. наук, профессор МГУ им. адм. Г.И. Невельского
Надежкин Андрей Вениаминович, докт. техн. наук, профессор МГУ им. адм. Г.И. Невельского
Семенов Людмила Анатольевна, аспирант МГУ им. адм. Г.И. Невельского

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, МГУ им. адм. Г.И. Невельского

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОТОКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ

ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет»

Б.И. Руднев, О.В. Повалихина

THE FEATURES OF RADIATIVE HEAT FLUXES INTERACTION IN MARINE DIESEL ENGINE COMBUSTION CHAMBER

The Far Eastern State Technical Fisheries University (Dalrybvtuz) 52b, Lugovaya St., Vladivostok, 690087, Russia

Boris I. Rudnev (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of Dalrybvtuz)

O'ga V. Povalikhina (Assoc. Prof. of Dalrybvtuz)

ABSTRACT: Estimation of radiative heat fluxes interaction in marine diesel combustion chamber is given in this article. Authors show that effective radiative heat fluxes can be neglected while analyzing the thermal conditions of combustion chamber parts.

Keywords: diesel engine, combustion chamber, radiative heat fluxes

Представлена оценка взаимодействия потоков излучения в камере сгорания судового дизеля. Показано, что при анализе теплового состояния деталей камеры сгорания эффективными потоками излучения можно пренебречь.

Излучающую систему для условий камеры сгорания (КС) судового дизеля можно представить как поверхностную зону F , которую образуют поверхность крышки цилиндра (точка M_γ), втулка (точки M_n и M_k) и поршня (точка M_p), а также объемной зоны V (точка M_i), заполненной сажегазовой средой. Общая картина взаимодействия основных потоков излучения в произвольной точке M_k граничной поверхности (поверхностной зоны) F может быть представлена, следуя [1], схемой (рисунок).

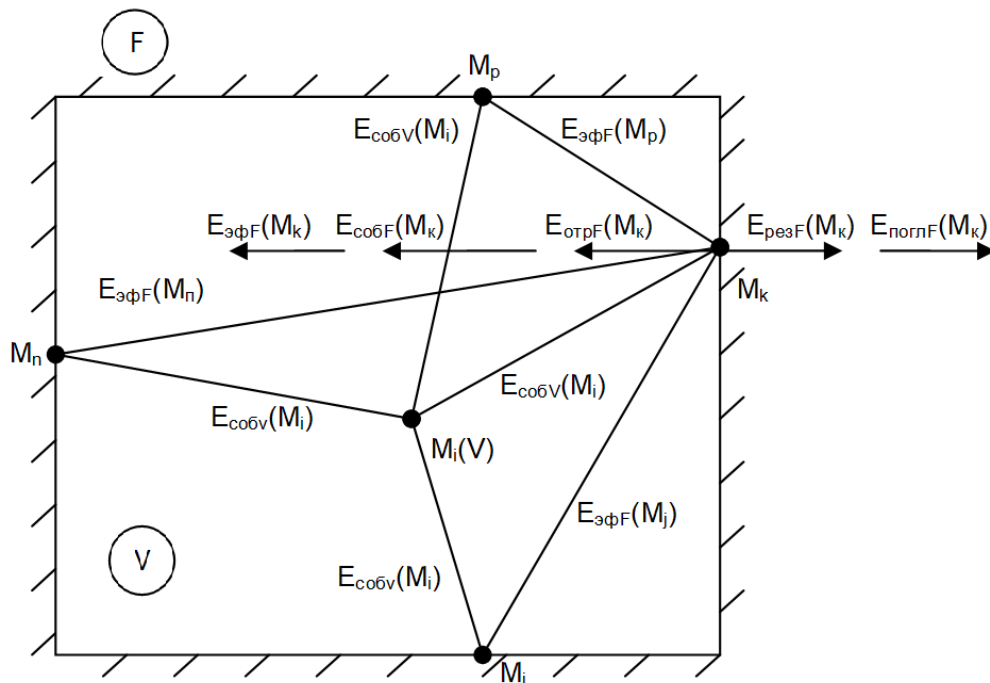


Рисунок – Схема взаимодействия потоков излучения в произвольной точке M_k граничной поверхности F

Рассмотрим более подробно воздействие основных потоков излучения для точки M_k , принадлежащей граничной поверхности F . В каждую точку граничной поверхности F приходит собственное излучение от объемной зоны $M_i(V)$, то есть $E_{собр}(M_i)$. Причем для всех точек граничной поверхности M_k , M_n , M_p и M_γ этот поток является падающим потоком. В то же время каждая из поверхностей, на которых расположены точки M_k , M_n , M_p и M_γ , имеет свой эффективный (или исходящий [2]) поток излучения

$$E_{эф}(M_n) = E_{собрF}(M_n) + E_{отрF}(M_n), \quad (1)$$

в свою очередь, отраженный поток для точки M_n может быть представлен следующим образом

$$E_{отрF}(M_n) = E_{пад}R_F, \quad (2)$$

где R_F — коэффициент отражения граничной поверхности F .

Учитывая взаимосвязь между коэффициентом отражения R_F и степенью черноты поверхности ε_F , имеем

$$E_{отрF}(M_n) = E_{пад}R_F = (1 - \varepsilon_F)E_{падF} = (1 - \varepsilon_F)E_{собрV}(M_i). \quad (3)$$

Тогда эффективный поток излучения от точки M_n граничной поверхности F можно представить следующим образом

$$E_{эфF}(M_n) = E_{собрF}(M_n) + (1 - \varepsilon_F)E_{собрV}(M_i). \quad (4)$$

Аналогично для точек M_p и M_γ :

$$E_{эфF}(M_p) = E_{собрF}(M_p) + (1 - \varepsilon_F)E_{собрV}(M_i); \quad (5)$$

$$E_{эфF}(M_\gamma) = E_{собрF}(M_\gamma) + (1 - \varepsilon_F)E_{собрV}(M_i). \quad (6)$$

Таким образом, для произвольной точки M_k граничной поверхности F (см. рисунок) падающими потоками излучения будут $E_{\text{сбВ}}(M_i)$, $E_{\text{эфВ}}(M_n)$, $E_{\text{эфВ}}(M_p)$ и $E_{\text{эфВ}}(M_\gamma)$.

Результирующий поток излучения для точки M_k в общем виде запишется так

$$E_{\text{рез}}(M_k) = E_{\text{пад}}(M_k) - E_{\text{эфВ}}(M_k). \quad (7)$$

Очевидно, что в (7) эффективный поток излучения от точки M_k можно представить аналогично эффективным потокам от точек M_n , M_p и M_γ (4)-(6)

$$E_{\text{эфВ}}(M_k) = E_{\text{сбВ}}(M_k) + (1 - \varepsilon_F) E_{\text{сбВ}}(M_i). \quad (8)$$

Подставляя в (7) соответствующие потоки излучения, определяемые по зависимостям (4)-(6), получим

$$\begin{aligned} E_{\text{рез}}(M_k) &= E_{\text{сбВ}}(M_i) + E_{\text{эфВ}}(M_n) + E_{\text{эфВ}}(M_p) + E_{\text{эфВ}}(M_\gamma) - E_{\text{эфВ}}(M_k) = \\ &= E_{\text{сбВ}}(M_i) + E_{\text{сбВ}}(M_n) + (1 - \varepsilon_F) E_{\text{сбВ}}(M_i) + E_{\text{сбВ}}(M_p) + (1 - \varepsilon_F) E_{\text{сбВ}}(M_i) + \\ &\quad + E_{\text{сбВ}}(M_\gamma) + (1 - \varepsilon_F) E_{\text{сбВ}}(M_i) - E_{\text{сбВ}}(M_k) - (1 - \varepsilon_F) E_{\text{сбВ}}(M_i). \end{aligned} \quad (9)$$

Группируя в (9) члены, содержащие собственный поток излучения объемной зоны $E_{\text{сбВ}}(M_i)$, имеем

$$\begin{aligned} E_{\text{рез}}(M_k) &= E_{\text{сбВ}}(M_i) + (1 - \varepsilon_F) E_{\text{сбВ}}(M_i) + (1 - \varepsilon_F) E_{\text{сбВ}}(M_i) + \\ &\quad + (1 - \varepsilon_F) E_{\text{сбВ}}(M_i) + (1 - \varepsilon_F) E_{\text{сбВ}}(M_i) - (1 - \varepsilon_F) E_{\text{сбВ}}(M_i) + \\ &\quad + E_{\text{сбВ}}(M_n) + E_{\text{сбВ}}(M_p) + E_{\text{сбВ}}(M_\gamma) - E_{\text{сбВ}}(M_k). \end{aligned} \quad (10)$$

Проанализируем полученную зависимость (10) для результирующего потока излучения произвольной точки M_k граничной поверхности F , выражающую функциональную связь основных потоков излучения. Из (10) следует, что результирующий поток излучения для точки M_k формируется при взаимодействии собственного потока излучения объемной зоны $E_{\text{сбВ}}(M_i)$ и собственных потоков излучения поверхностей, образующих граничную поверхность F : $E_{\text{сбВ}}(M_n)$, $E_{\text{сбВ}}(M_p)$, $E_{\text{сбВ}}(M_\gamma)$ и $E_{\text{сбВ}}(M_k)$. Причем собственный поток излучения поверхности, которой принадлежит точка M_k , имеет противоположный знак по отношению к собственным потокам излучения других поверхностей. Члены уравнения (10) вида $(1 - \varepsilon_F) E_{\text{сбВ}}(M_i)$ представляют собой отраженный поток излучения от соответствующих элементов граничной поверхности F . Заметим, что при построении математической модели локального радиационного теплообмена в КС дизеля необходимо величину степени черноты граничной поверхности ε_F задавать дифференцированно по отношению к каждому ее элементу, то есть отдельно для крышки цилиндра, поршня и втулки.

На основании экспериментальных данных [3] величины степени черноты для отдельных поверхностей, составляющих КС, имеют следующие значения: для днища поршня из алюминиевого сплава, покрытого нагаром толщиной 0,1-0,2 мм ($\varepsilon = 0,91-0,95$), а при толщине нагара 0,2-0,6 мм ($\varepsilon = 0,94-0,97$); для крышки цилиндра из чугуна, покрытой нагаром $\varepsilon = 0,90-0,95$; для втулки цилиндра с тонким слоем масла $\varepsilon = 0,3-0,4$. Принимая во внимание величины степени черноты поверхностей КС, следует отметить, что члены вида $(1 - \varepsilon_F) E_{\text{сбВ}}(M_i)$ в уравнении (10) важны в определенной мере лишь для поверхности втулки цилиндра. Для поверхности крышки цилиндра и поршня эти члены укладываются в погрешность определения температуры излучателя в КС дизеля и концентрации частиц сажи в ней. Отметим, что указанная погрешность составляет 12-15%. Однако даже и для втулки цилиндра величина $(1 - \varepsilon_F) E_{\text{сбВ}}(M_i)$ не может быть значительной, так как в период активного процесса радиационного теплообмена в КС (от верхней мертвой точки (ВМТ) до 80-100 °ПКВ после ВМТ) большая часть втулки цилиндра перекрыта поршнем. Что же касается членов уравнения (10), представляющих собой собственные потоки излучения элементов граничной поверхности F : $E_{\text{сбВ}}(M_n)$, $E_{\text{сбВ}}(M_p)$, $E_{\text{сбВ}}(M_\gamma)$ и $E_{\text{сбВ}}(M_k)$, то здесь необходимо отметить следующее. Собственный поток излучения поверхности однозначно определяется ее температурой и излучательной способностью (степенью черноты) по зависимости

$$E_{\text{сбF}} = \sigma_0 \varepsilon_F T_F^4. \quad (11)$$

Аналогично можно определить и собственный поток излучения объемной зоны

$$E_{\text{сбV}} = \sigma_0 \varepsilon_V T_V^4. \quad (12)$$

В результате сложного взаимодействия рассмотренных выше потоков излучения между объемной зоной и соответствующими точками граничной поверхности в замкнутой системе (см. рисунок) формируются результирующие потоки, определяющие радиационную тепловую нагрузку деталей КС. Этот процесс взаимодействия основных потоков излучения описывается системой интегральных уравнений излучения [2]. Последние могут быть, как показано в [4, 5], аппроксимированы соответствующей системой алгебраических уравнений. Подробный анализ указанных выше систем уравнений приведен в [6-8].

Следует отметить, что температуры поршня и крышки цилиндра судовых дизелей лежат в пределах 350-450 °С, а температура пламени, то есть объемной зоны T_V составляет 2000-2100 °С и выше. Это позволяет в уравнении (9) пренебречь эффективными потоками излучения и считать, что приближенно выполняется условие

$$E_{\text{рез}}(M_k) \approx E_{\text{пад}}(M_k) \approx E_{\text{сбV}}(M_i). \quad (13)$$

Проведенный анализ взаимодействия потоков излучения позволил сделать ряд существенных уточнений в зональной модели радиационного теплообмена в камере сгорания судового дизеля [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Петриченко, Р.М. Элементы автоматизированного проектирования ДВС: Алгоритмы прикладных программ / Р.М. Петриченко, С.А. Батурин, Ю.Н. Исаков [и др.]. -Л.: Машиностроение, 1990. -328 с.

2 Блох, А.Г. Теплообмен излучением: справочник / А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков. -М.: Энергоатомиздат, 1991. -432 с.

3 Руднев, Б.И. Процессы локального теплообмена в камере сгорания дизелей / Б.И. Руднев. -Владивосток: Дальнаука, 2000. -221 с.

4 Суринов, Ю.А. Об итерационно-зональном методе исследования и расчета лучистого теплообмена в поглощающей и рассеивающей среде / Ю.А. Суринов. // -Известия СО АН СССР. -1978. -№8. -Вып.2. -С. 106-125.

5 Суринов, Ю.А. Современное состояние и перспективы развития теории переноса излучения и радиационного теплообмена / Ю.А. Суринов // Труды первой Российской национальной конференции по теплообмену. В 9т. Т. 9. Радиационный и сложный теплообмен. -М.: Изд-во Моск. энергет. инст., 1994. -С. 238-243.

6 Руднев, Б.И. Анализ взаимодействия радиационных тепловых потоков в камере сгорания дизеля / Б.И. Руднев, О.В. Повалихина // Materials of the X International scientific and practical conference "Modern European Science -2014". Vol. 17. Technical science. -Sheffield: Science and Education LTD, 2014. -P. 65-72.

7 Руднев, Б.И. Анализ использования зональной модели радиационного теплообмена в камере сгорания дизельного двигателя / Б.И. Руднев, О.В. Повалихина // Труды пятой Российской национальной конференции по теплообмену. В 8 т. Т. 6. Интенсификация теплообмена. Радиационный и сложный теплообмен. -М.: Издательский дом МЭИ, 2010. -С. 261-263.

8 Руднев, Б.И. Математическое моделирование радиационного теплообмена в камере сгорания судового дизеля / Б.И. Руднев, О.В. Повалихина // -Тепловые процессы в технике. -2017. -Т.9. -№9. -С. 422-425.

1 Petrichenko R.M., Baturin S.A., Isakov Yu.N. Elements of computer-aided design of ICE: Applied software algorithms [Elementy avtomatizirovanogo proektirovaniya DVS: Algoritmy prikladnykh program]. Leningrad. Mashinostroenie Publ. 1990. 328 p.

2 Blokh A.G., Zhuravlev Yu.A., Ryzhkov L.N. Radiative heat exchange [Teploobmen izlucheniem]. Moscow. Energoatomizdat Publ. 1991. 432 p.

3 Rudnev B.I. Areal heat exchange processes in diesel engine internal combustion [Protssessy lokal'nogo teploobmena v kamere sgoraniya dizelei]. Vladivostok. Dal'nauka Publ. 2000. 221 p.

4 Surinov Yu.A. Revisiting the zonal-iterative method of studying and calculating radiative heat transfer in absorbing and scattering medium [Ob iteratsionno-zonal'nom metode issledovaniya i rascheta luchistogo teploobmena v pogloshchayushchei i rasseivayushchei srede]. Izvestia SB AS USSR [Izvestiya SO AN SSSR]. 1978. No. 8. Vol. 2. pp. 106-125.

5 Surinov Yu.A. Current state and prospects for the development of the theory of radiation transfer and radiative heat transfer [Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya teorii perenosa izlucheniya i radiatsionnogo teploobmena]. Proceedings of 1st Russian national heat transfer conference in 9 vol. Vol. 9. Radiative and complex heat transfer [Trudy pervoi Rossiiskoi natsional'noi konferentsii po teploobmenu. V 9t. T. 9. Radiatsionnyi i slozhnyi teploobmen]. Moscow. Moscow Power Engineering Inst. Publ. 1994. pp. 238-243.

6 Rudnev B.I., Povalikhina O.V. Analysis of radiative heat fluxes interaction in the combustion chamber of diesel engine [Analiz vzaimodeistviya radiatsionnykh teplovykh potokov v kamere sgoraniya dizelya]. Proceedings of the X International scientific conference "Modern European Science -2014". Vol. 17. Technical science. -Sheffield: Science and Education LTD. 2014. pp. 65-72.

7 Rudnev B.I., Povalikhina O.V. Analysis of the use of the areal model of radiative heat transfer in the combustion chamber of a diesel engine [Analiz ispol'zovaniya zonal'noi modeli radiatsionnogo teploobmena v kamere sgoraniya dizel'nogo dvigatelya]. Proceedings of 5th Russian national heat transfer conference in 8 vol. Vol. 6. Radiative and complex heat transfer [Trudy pyatoi Rossiiskoi natsional'noi konferentsii po teploobmenu. V 8 t. T. 6. Intensifikatsiya teploobmena. Radiatsionnyi i slozhnyi teploobmen]. Moscow. Moscow Power Engineering Inst. Publ. house. 2010. pp. 261-263.

8 Rudnev B.I., Povalikhina O.V. Mathematical modeling of radiative heat transfer in the combustion chamber of marine diesel engine [Matematicheskoe modelirovanie radiatsionnogo teploobmena v kamere sgoraniya sudovogo dizelya]. Thermal processes in engineering [Teplovy protsessy v tekhnike]. 2017. Vol. 9. No. 9. pp. 422-425.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

дизельный двигатель, камера сгорания, потоки излучения

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Руднев Борис Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз»
Повалихина Ольга Владимировна, доцент ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

690087, г.Владивосток, ул.Луговая, 52Б, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз»

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ГЛУБИНЫ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения»

А.П. Буйносов, Д.В. Волков, А.Р. Динисламов

ULTRASONIC NON-DESTRUCTIVE METHOD OF EXAMINATION THE DEPTH OF SURFACE HARDENING OF ROLLING STOCK MECHANICAL PARTS

Ural State University of Railway Transport (USURT) 66, Kolmogorova St., Ekaterinburg, 620034, Russia

Aleksandr P. Buinosov (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of USURT)

Denis V. Volkov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of USURT)

Albert R. Dinislamov (Graduate student of USURT)

ABSTRACT: This paper presents the results of comparison of control of a heat-strengthened layer of a leaf spring suspension bushing of diesel locomotive ТЭМ2У made with ultrasonic non-destructive method developed by authors and the existing method, the measurement error of the heat-strengthened layer is estimated.

Keywords: rolling stock, part, surface hardening, depth, method, ultrasound, examination

Приведены результаты сравнения контроля термоупрочненного слоя валика рессорного подвешивания тепловоза ТЭМ2У разработанным авторами ультразвуковым неразрушающим методом и существующим способом, оценена погрешность измерений термоупрочненного слоя.

Индукционная закалка током высокой частоты (ТВЧ) деталей является хорошо зарекомендовавшей себя технологией поверхностного упрочнения. Процесс упрочнения заключается в индуктивном нагреве поверхностного слоя с последующим охлаждением жидкостью. Это приводит к появлению более твердой мартенситной структуры в поверхностном слое, в то время как структура основного слоя (ядра) остается ферритной [1, 2]. Тем самым достигаются оптимальные характеристики (прочность, износостойкость, пластичность) для динамически нагружаемых деталей. ТВЧ закалке подвергаются многие детали механической части локомотивов, в частности крестовина карданного вала 325.10.116, ведущая шестерня М62 и валик рессорного подвешивания ТЭМ2У.35.30.102-01. Ясно, что динамически нагружаемые детали должны подвергаться строжайшему контролю характеристик на всех этапах производства. В настоящее время глубину поверхностного термоупрочнения контролируют только разрушающими методами. Это требует значительных временных и экономических затрат. К тому же контроль одной детали не может обеспечить соответствия характеристик всей партии.

Для решения этой проблемы в Уральском государственном университете путей сообщения (УрГУПС) совместно с АО «НПО» Интротест» разработан неразрушающий ультразвуковой метод контроля поверхностной закалки деталей [3]. Суть метода заключается в регистрации сигналов рассеяния ультразвукового луча на переходной зоне, между упрочненным слоем и ядром. С помощью пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) линейно поляризованная (поперечная) ультразвуковая волна под определенным углом вводится в объект контроля (ОК). Далее происходит отражение ультразвукового луча от поверхности ОК, в результате чего часть энергии возвращается на ПЭП. Остальная ультразвуковая энергия попадает в закаленный слой. Упрочненный поверхностный слой состоит из мелкозернистой мартенситной структуры и, следовательно, рассеяние ультразвуковой волны в этой области не происходит. Когда поперечная волна достигает переходной зоны, где мартенситная структура постепенно переходит в феррит-перлитную структуру, которая имеет больший размер зерна, волна рассеивается на границах зерен [4].

В качестве объекта контроля исследовался валик рессорного подвешивания ТЭМ2У.35.30.102-01, используемый на локомотивах серий ТГМ4, ТГМ6 и ТЭМ2. Материал детали – сталь 45 с химическим составом: углерод (С) – 0,45%, кремний (Si) – 0,17-0,37%, хром (Cr) – до 0,25%, марганец (Mn) – 0,5-0,8%, никель (Ni) – до 0,25%, медь (Cu) – до 0,25%, фосфор (P) – до 0,035%, сера (S) – до 0,04%, мышьяк (As) – 0,08%.

Для проведения исследований, из валика рессорного подвешивания были изготовлены образцы (рисунок 1): два образца для измерения твердости в радиальном сечении, диаметром 49 мм и высотой 40 мм (№1 и №2); два образца для измерения профиля твердости в

продольном сечении, длиной 100 мм (№3 и №4). Согласно данным завода-изготовителя, глубина закаленного слоя составляет 4 мм. Образцы №1 и №2 были проточены на токарном станке для получения различных глубин закалки.

Для проведения исследований на твердость по Роквеллу, поверхности были отшлифованы до значения шероховатости R_z4 . Поверхности для ультразвукового исследования не подвергались дополнительной обработке, шероховатость составляет R_z20 .

Для измерения твердости была использована установка «УЗИТ-3». Измерение твердости в радиальном сечении проводилось с шагом 200 мкм первые 6 мм, и с шагом 1 мм до 8 мм от поверхности к центру. Аналогичные измерения проводились для определения твердости в продольном сечении. На рисунке 2 схематично показаны траектории измерений.

В результате были получены профили твердости в радиальном сечении для образцов из валков рессорного подвешивания (рисунок 3).

Глубина термоупрочнения для образцов №1 и №2 составляет: сечение а)-2,6 мм; сечение б)-3 мм; сечение в)-3,6 мм; сечение г)-4 мм, сечение д)-5,2 мм. Разницу в твердости приповерхностного слоя можно объяснить неправильным температурным режимом механической обработки образцов.

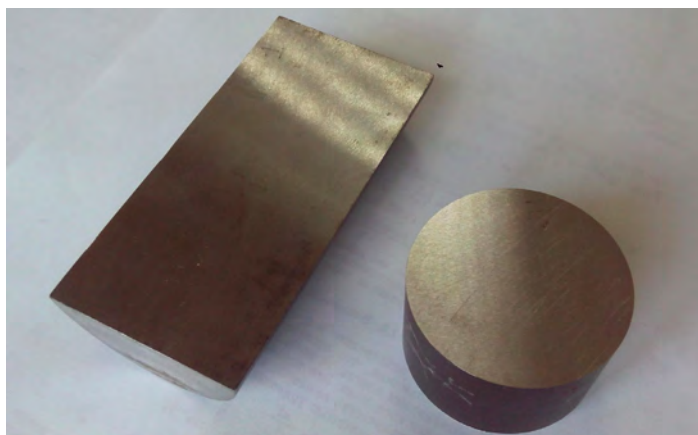


Рисунок 1 – Образцы №1 и №3, выполненные из валика рессорного подвешивания

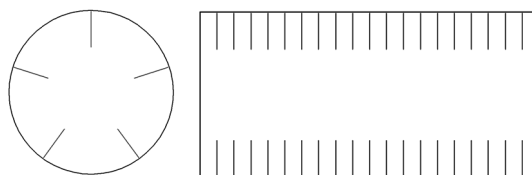


Рисунок 2 – Траектории измерения твердости

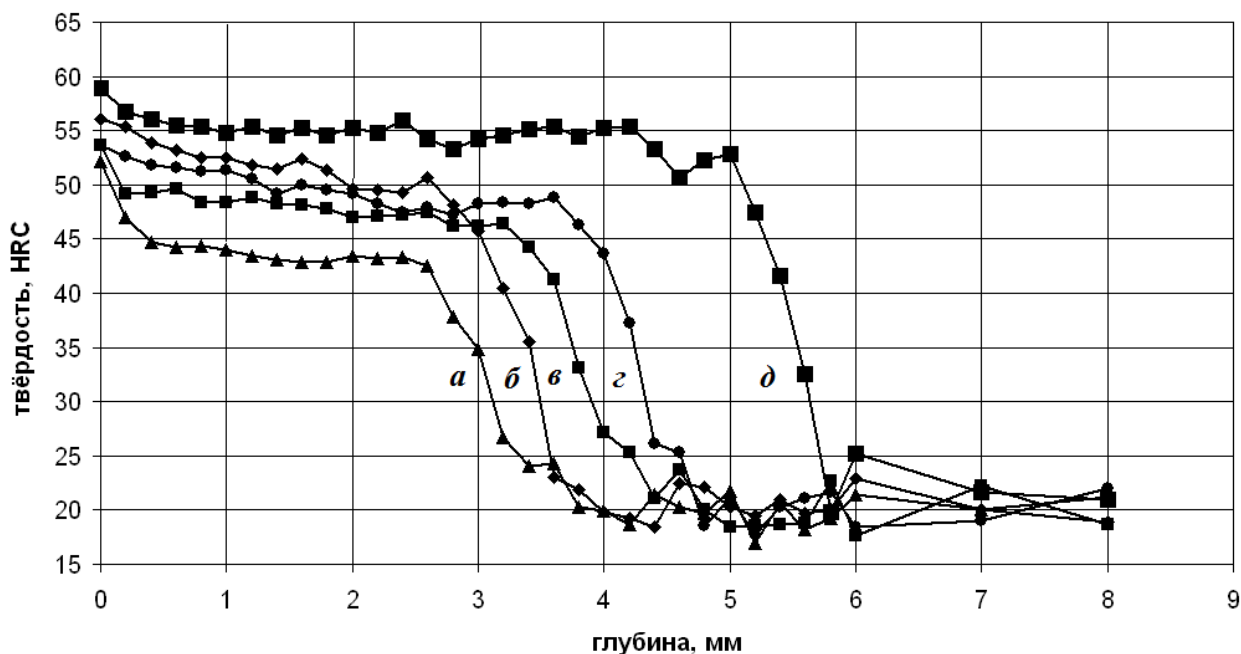


Рисунок 3 – Профили твердости в радиальном сечении валика рессорного подвешивания: а); б); в)-образец №1; г); д)-образец №2

Для измерений с помощью ультразвукового метода использовались преобразователь А211-20-d6 и дефектоскоп «Интротест 2.Х», разработанные в АО «НПО» Интротест». Принципиальная схема изображена на рисунке 4.

Выбор резонансной частоты преобразователя обуславливается следующими факторами:

– амплитуда сигнала рассеяния удовлетворяет закону

$$A_p = A_0 \exp(-\alpha x),$$

где α – коэффициент рассеяния, который зависит от длины волны λ [5].

– длина волны в металле

$$\lambda < 2\pi D,$$

где D – линейный размер зерен.

Уменьшение длины волны, приводит к увеличению рассеяния. То есть имеет место релевское рассеяние, для которого справедливо соотношение для коэффициента затухания $\alpha_3 \sim f^4$.

Таким образом, для контроля закаленных слоев от 1 до 10 мм оптимально использование резонансной частоты $f = 15-20$ МГц. Преобразователь и образцы помещались в иммерсионную ванну, далее ОК подвергался воздействию ультразвука. Наклонный ввод обеспечивает преобразование моды (на границе вода/закаленный слой продольная линейно-поляризованная волна переходит в поперечную волну, поляризованную плоскости перпендикулярной направлению движения) и увеличивает лучевую разрешающую способность системы ОК-ПЭП. Длина поперечной волны значительно меньше длины продольной волны, что увеличивает рассеяние на границе закаленный слой-ядро. Угол ввода в ОК выбирался исходя из максимума диаграммы направленности вода/сталь для поперечной волны, он составляет 40-45°. На экране дефектоскопа наблюдались отчетливые сигналы рассеяния на переходной зоне. Первый эхо-импульс соответствует отражению ультразвукового луча от поверхности образца. Второй эхо-импульс – это сигнал рассеяния на переходной зоне (рисунок 5).

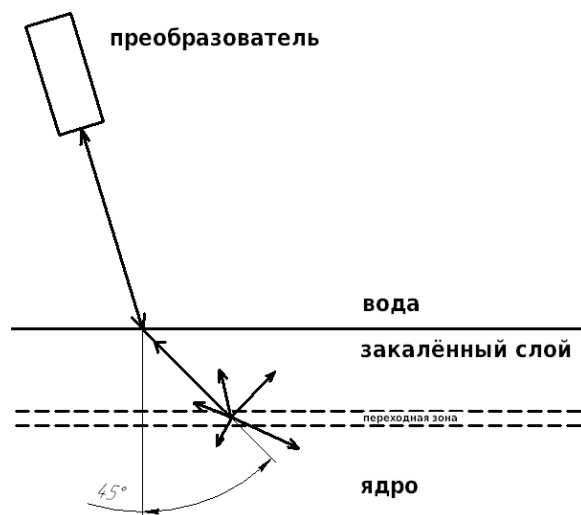


Рисунок 4 – Принципиальная схема ультразвукового контроля глубины закали

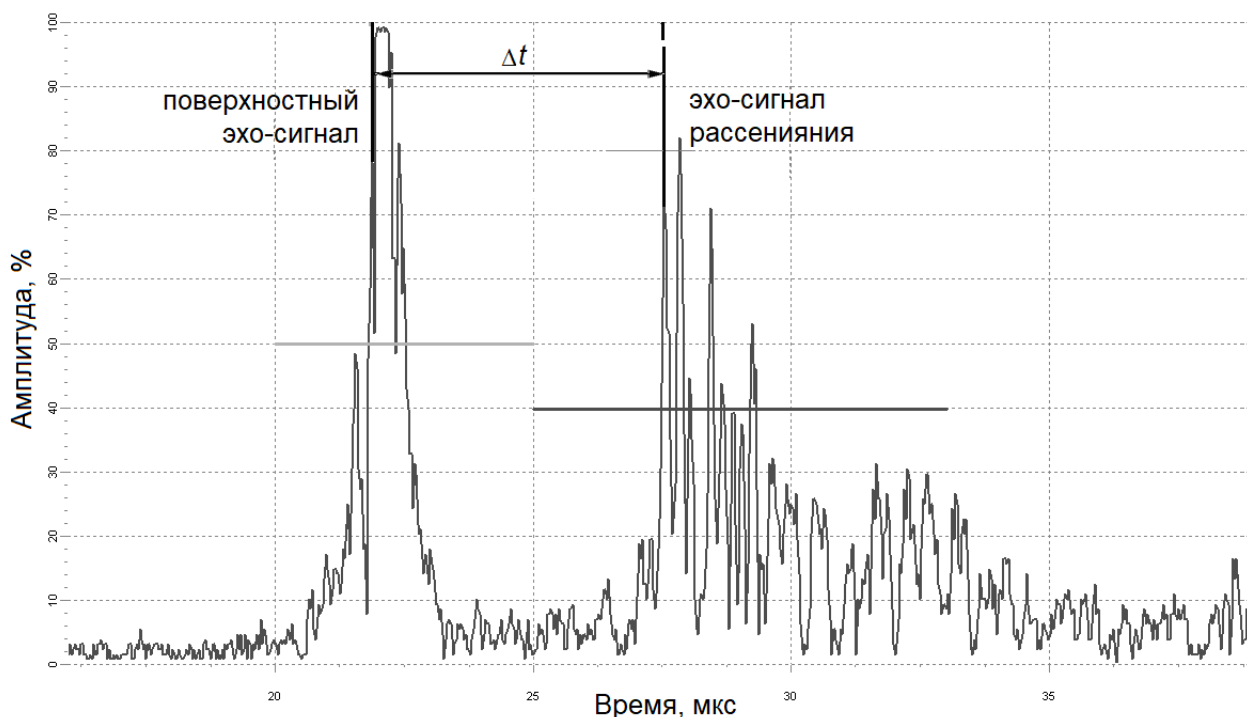


Рисунок 5 – А-скан для образца №1

Измеряя разницу прихода сигналов рассеяния от поверхности образца и от переходной зоны можно вычислить глубину закалки по формуле

$$h = \frac{c_t \Delta t}{2} \cos \beta,$$

где Δt – разница по времени прихода поверхностного сигнала и сигнала рассеяния на переходной зоне;

c_t – скорость поперечной волны в закаленном слое;

β – угол наклона акустической оси ультразвукового луча в закаленном слое.

Между результатами измерений глубины закалки выполненными разными способами (с помощью ультразвука h_y и разрушающим h_p) была установлена тесная корреляционная зависимость $h_y = 0,836h_p + 0,831$ (коэффициент корреляции $R = 0,955$). Погрешность измерения не превышает 10% (рисунок 6).

Были проведены измерения продольного профиля глубины закалки для образца №3. Ниже представлены результаты измерений. Погрешность измерений не превышает 10% (рисунок 7).

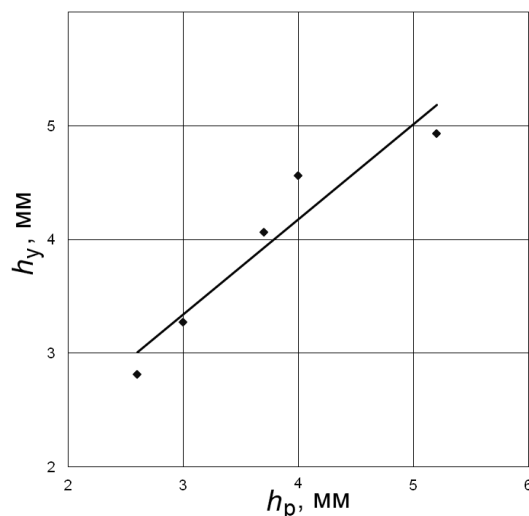


Рисунок 6 – Сравнение результатов измерений разрушающего и ультразвукового методов

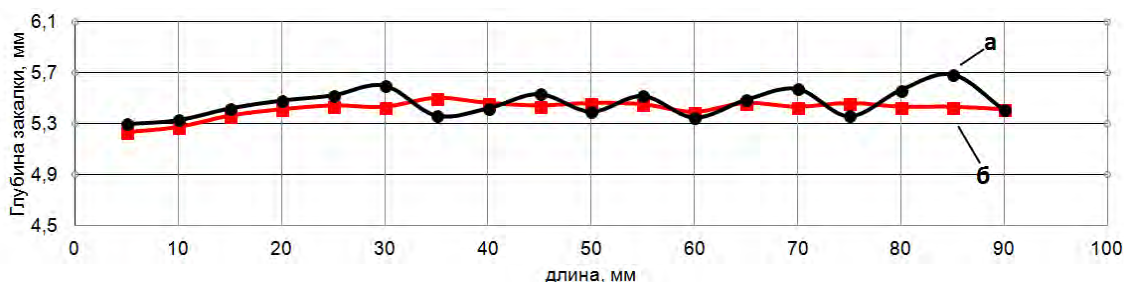


Рисунок 7 – Профиль глубины закалки в продольном сечении: а)-измерения, проведенные ультразвуковым методом; б)-измерения, проведенные разрушающим методом

Метод ультразвукового контроля глубины закаленного слоя представляет собой альтернативу разрушающим методам контроля. При этом обладает рядом преимуществ:

- не требует разрушения детали;
- занимает непродолжительное время;
- позволяет обеспечить соответствие характеристик для всей партии деталей.

Погрешность измерения глубины термоупрочненного слоя валика рессорного подвешивания ТЭМ2У.35.30.102-01 не превысила 10%. Коэффициент корреляции между ультразвуковым и разрушающим методами составил 0,955.

В дальнейшем необходимо исследовать способы уменьшения погрешности измерений глубины термоупрочненного слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Буйносов, А.П. Разработка метода ультразвукового контроля глубины поверхностной закалки деталей механической части электровозов / А.П. Буйносов, А.Р. Динисламов // Инновационный транспорт-2016. Специализация железных дорог: мат. межд. науч.-техн. конф. (17 нояб. 2016 г.). -Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. ун-в. путей сообщ., 2017. -Вып. 8 (227). -С. 199-205.
- 2 Буйносов, А.П. Модель теплового процесса упрочнения стали бандажей колесных пар электровозов при нагреве равномерно распределенными источниками / А.П. Буйносов, И.О. Шепелева // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2014. -№4. -С. 150-157.

REFERENCES

- 1 Buinsov A.P., Dinislamov A.R. Development of an ultrasonic testing method for inspection of depth of surface hardened mechanical parts of electric locomotives [Razrabotka metoda ul'trazvukovogo kontrolya glubiny poverkhnostnoi zakalki detalei mekhanicheskoi chasti elektrovozov]. *Innovatsionnyi transport-2016: spetsializatsiya zheleznikh dorog*. Ekaterinburg. Ural St. Univ of Railway Transp Publ. 2017. No. 8 (227). pp. 199-205.
- 2 Buinsov A.P., Shepeleva I.O. Model of the thermal process of hardening the wheel treads steel of electric locomotive wheelsets when heated by uniformly distributed sources [Model' teplovogo protsessa uprochneniya stali bandazhei kolesnykh par elektrovozov pri nagreve ravnomerno raspredelennymi istochnikami]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2014. No. 4. -pp. 150-157.

3 Буйносов, А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения / А.П. Буйносов. - Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. ун-в. путей сообщ., 2009. -224 с.

4 Буйносов, А.П. Выбор метода неразрушающего контроля термоупрочненных деталей механической части электровозов / А.П. Буйносов, А.Р. Динисламов // -Науч.-техн. вестн. Поволжья. -2017. -№1. -С. 50-52.

5 Крауткремер, Й. Ультразвуковой контроль материалов: справочник / Й. Крауткремер, Г. Крауткремер. -М.: Металлургия, 1991. -752 с.

3 Buinosov A.P. The main causes of intensive wear of wheel treads of rolling stock and ways to eliminate them [*Osnovnye prichiny intensivnogo iznosa bandazhei kolesnykh par podvizhnogo sostava i metody ikh ustraneniya*]. Ekaterinburg. Ural St. Univ of Railway Transp Publ. 2009. 224 p.

4 Buinosov A.P., Dinislamov A.R. The choice of nondestructive testing technique applied to thermo-hardened mechanical parts of electric locomotives [Vybor metoda nerazrushayushchego kontrolya termouprochnennykh detalei mekhanicheskoi chasti elektrovozov]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 2017. No. 1. pp. 50-52.

5 J. Krautkrämer, H. Krautkrämer Ultrasonic testing of materials [*Ul'trazvukovoi kontrol' materialov: spravochnik*]. Moscow. Metallurgiya Publ. 1991. 752 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: подвижной состав, деталь, поверхностная закалка, глубина, метод, ультразвук, контроль

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Буйносов Александр Петрович, докт. техн. наук, профессор УрГУПС

Волков Денис Владимирович, канд. техн. наук, доцент УрГУПС

Динисламов Альберт Рифович, аспирант УрГУПС

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 620034, г.Екатеринбург, ул.Колмогорова, 66, УрГУПС

ОПТИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕНА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ

ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет»

Б.И. Руднев, О.В. Повалихина

OPTICAL AND GEOMETRICAL RADIATIVE HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS IN MARINE DIESEL COMBUSTION CHAMBER

The Far Eastern State Technical Fisheries University (Dalrybvtuz) 52b, Lugovaya St., Vladivostok, 690087, Russia

Boris I. Rudnev (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of Dalrybvtuz)

O'l'ga V. Povalikhina (Assoc. Prof. of Dalrybvtuz)

ABSTRACT: The article presents a method of angle factors calculation radiation in marine diesel combustion chamber. Authors underline areal variation of given factors along the cylinder radius. The connection between the variation manner of angle coefficients and radiative heat fluxes received by combustion chamber surfaces has been defined.

Keywords: marine diesel engine, combustion chamber, optical and geometrical characteristics, radiation heat exchange

Представлен метод расчета геометрических угловых коэффициентов излучения в камере сгорания судового дизеля. Показан локальный характер изменения указанных коэффициентов по радиусу цилиндра. Установлена связь между характером изменения угловых коэффициентов и тепловых потоков излучения, воспринимаемых поверхностями камеры сгорания.

Определение теплового состояния деталей, образующих камеру сгорания (КС), судовых дизелей на стадии их проектирования и доводки представляет собой трудную и еще пока нерешенную проблему. Это обусловлено сложностью физических процессов, протекающих в КС, и несовершенством математических моделей (ММ), используемых для их описания. Отмеченное в полной мере относится и к процессам локального теплообмена, в том числе и радиационного. Доля последнего в суммарном теплообмене для судовых дизелей доходит до 45-50% по мгновенным значениям и 20-25% по средним значениям за рабочий цикл [1]. Изменение оптико-геометрических характеристик радиационного теплообмена по углу поворота коленчатого вала и «нестандартная» геометрия поверхностей деталей КС значительно увеличивают трудности, связанные с применением зонального метода для расчета локальных потоков излучения. В частности, предлагаемые для расчета геометрических угловых коэффициентов излучения методы, основанные на аппроксимации реальной геометрии КС классическими элементами (цилиндры, кольца и др.) [2], не позволяют с достаточной точностью определять локальные значения указанных коэффициентов. Это приводит как следствие к тому, что невозможно с помощью таких подходов определить и локальные результирующие потоки излучения, воспринимаемые деталями КС.

В рамках настоящей статьи предлагается метод расчета геометрических угловых коэффициентов излучения, отличающийся от ранее предложенных [2] возможностью определения, как средних для всей поверхности теплообмена (например, для крышки цилиндра, втулки и др.), так и локальных значений указанных параметров. Сущность предлагаемого

метода расчета сводится к следующему.

Угловой коэффициент для поверхности F отличается от телесного угла, под которым видна эта поверхность лишь множителем $1/4\pi$ (рисунок 1).

$$\frac{1}{4\pi}\Omega(F) = \varphi(F), \quad (1)$$

где $\Omega(F)$ – телесный угол;

$\varphi(F)$ – угловой коэффициент;

F – элемент поверхности вращения.

В случае судового дизеля 6ЧН24/36 F представляет собой элемент поверхности сферической выемки в поршне. Телесный угол для F можно вычислить по формуле

$$\Omega(F) = 2\pi(\cos\theta_2 - \cos\theta_1). \quad (2)$$

Соответственно угловой коэффициент может быть определен по зависимости

$$\varphi(F) = \frac{1}{2}(\cos\theta_2 - \cos\theta_1), \quad (3)$$

где θ_1, θ_2 – полярные углы, отсчитываемые от оси вращения.

Формулу (3) можно также записать в виде

$$\varphi(F) = \frac{1}{2}(1 - \cos\theta_2) - \frac{1}{2}(1 - \cos\theta_1), \quad (4)$$

то есть как приращение углового коэффициента, отсчитываемого от полярной оси. Рассмотрим поверхность, образованную кривой P_0P_n при вращении ее вокруг оси (рисунок 2).

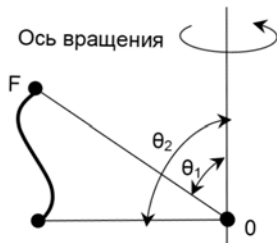


Рисунок 1 – Схема к определению геометрического углового коэффициента излучения

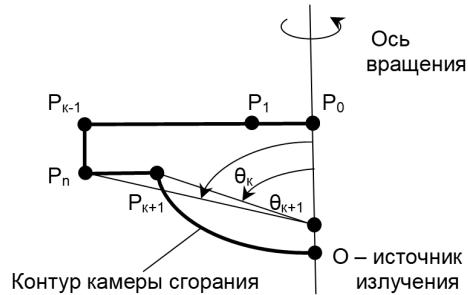


Рисунок 2 – Схема к расчету геометрических угловых коэффициентов излучения применительно к открытой камере сгорания судового дизеля 6ЧН24/36

Пусть θ_k – полярный угол точки P_k , то есть угол между лучом OP_k и осью вращения. Угол θ_k отсчитывается против часовой стрелки. Тогда угловой коэффициент для сегмента поверхности, образованного отрезком P_{k+1}, P_k находим по формуле

$$\varphi(P_{k+1}, P_k) = \frac{1}{2}(1 - \cos\theta_{k+1}) - \frac{1}{2}(1 - \cos\theta_k), \quad (5)$$

Указанный коэффициент может получиться отрицательным. Это означает, что сегмент $P_{k+1}P_k$ находится в тени. В этом случае нужно изменить ранее вычисленный коэффициент $\varphi(P_k, P_{k-1})$, прибавив к нему отрицательную величину $\varphi(P_{k+1}, P_k)$, а $\varphi(P_{k+1}, P_k)$ положить равным нулю. Предыдущий угловой коэффициент был уменьшен, поскольку в данном случае сегмент P_kP_{k-1} частично затеняется сегментом $P_{k+1}P_k$.

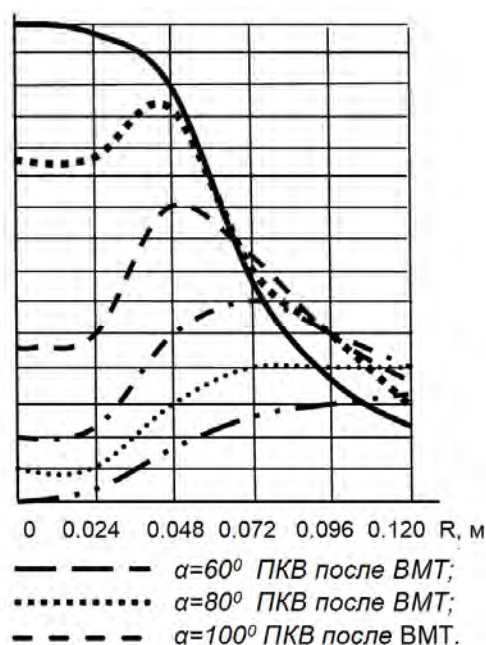
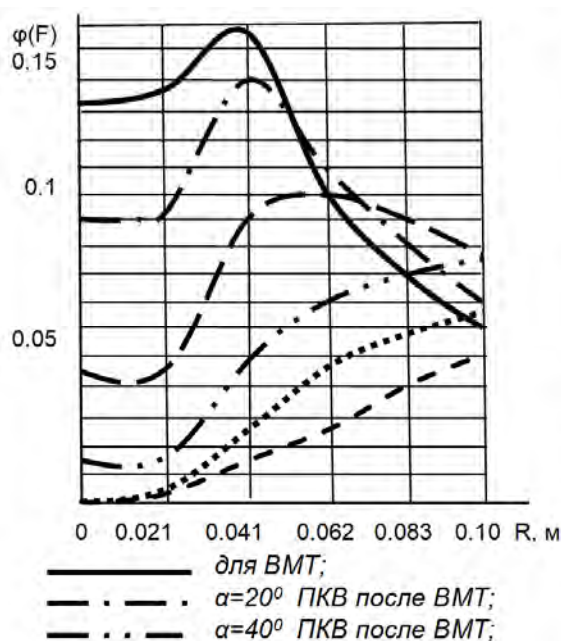
В итоге, схема расчета геометрических угловых коэффициентов излучения может быть представлена следующим образом:

- вычисляем декартовые координаты всех точек $P_1, \dots, P_n$;
- пересчитываем декартовы координаты в полярные (нужны только значения полярных углов θ_k);
- вычисляем геометрические угловые коэффициенты излучения по формуле (5) для всех k .
- проверяем нет ли отрицательных коэффициентов, если они есть, то угловые коэффи-

циенты модифицируются с учетом того находится ли соответствующий сегмент в тени или нет.

Затем расчет выполняется для каждого значения угла поворота коленчатого вала α .

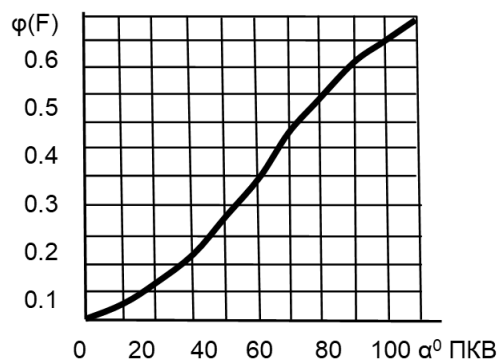
Использование рассмотренной выше методики для определения локальных геометрических угловых коэффициентов излучения позволило получить соответствующие зависимости для сферической выемки в поршне, для крышки и втулки цилиндра судового дизеля 6ЧН24/36.



Указанные зависимости представлены на рисунках 3-5. Анализ показывает, что наибольшее значение угловых коэффициентов приходится на кромку сферической выемки в поршне. Из практики эксплуатации судовых дизелей известно, что именно в этих локальных зонах чаще всего возникают термические трещины и наблюдается явление «выгорания» поверхностного слоя металла поршня.

Зависимости, представленные на рисунке 4, подтверждают, что наиболее нагруженной потоками излучения оказывается центральная часть крышки цилиндра. Для исследованного авторами статьи судового дизеля 6ЧН24/36 в центральной части огневой поверхности крышки цилиндра располагается межклапанная перемычка и отверстие для установки форсунки, которые уже сами по себе являются концентраторами напряжений. Неудивительно, что в практике эксплуатации судовых дизелей [1], именно в этой части крышки цилиндра возникают термические трещины. В наиболее благоприятных с точки зрения тепловых нагрузок, обусловленных потоками излучения, находится втулка цилиндра (рисунок 5).

Несмотря на высокое значение геометрических угловых коэффициентов излучения (0,10-0,65), уровень радиационных тепловых потоков, оказывается незначительным, так как в период активного тепловыделения в камере сгорания (верхняя мертвая точка (ВМТ) – 40 °ПКВ ВМТ поверхность втулки цилиндра закрыта поршнем.



Необходимо также учитывать и тот факт, что поверхность втулки цилиндра имеет степень черноты в пределах 0,3-0,4, а поверхности поршня и крышки цилиндров 0,90-0,95.

Сопоставление расчетных данных по локальным геометрическим угловым коэффициентам излучения, представленных на рисунках 3-5 и экспериментальных данных по локальным тепловым потокам излучения [1] позволяет сделать вывод о наличии корреляционной связи между характером изменения угловых коэффициентов излучения и тепловым состоянием деталей, образующих КС судового дизеля.

Для примера на рисунке 6 показаны локальные результирующие потоки излучения, рассчитанные для поршня судового дизеля 6ЧН24/36 с использованием предлагаемой методики. Расхождения полученных результатов с известными экспериментальными данными [1, 3, 4] составляет 10-12%, что подтверждает адекватность предложенного расчетного метода по определению локальных геометрических коэффициентов излучения.

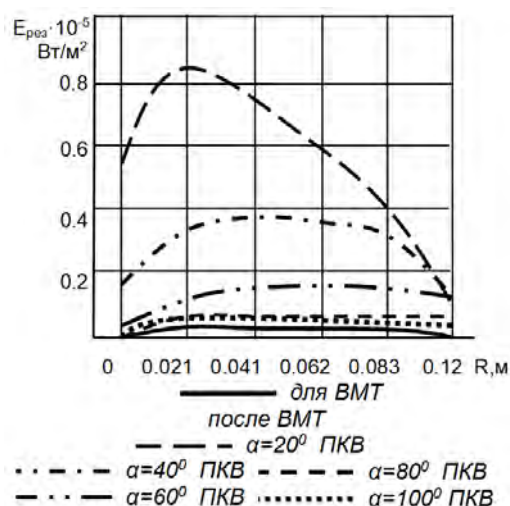


Рисунок 6 – Результирующий поток излучения по радиусу поршня при 100% нагрузке

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Петриченко, Р.М. Элементы автоматизированного проектирования ДВС: Алгоритмы прикладных программ / Р.М. Петриченко, С.А. Батурин, Ю.Н. Исаков [и др.]. -Л.: Машиностроение, 1990. -328 с.
- 2 Кучеров, В.Н. Метод расчета геометрических угловых коэффициентов излучения в камере сгорания судового малооборотного дизеля / В.Н. Кучеров // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2017. -№3-4. -С. 149-152.
- 3 Руднев, Б.И. Процессы локального теплообмена в камере сгорания дизелей / Б.И. Руднев. -Владивосток: Дальнаука, 2000. -221 с.
- 4 Руднев, Б.И. Математическое моделирование радиационного теплообмена в камере сгорания судового дизеля / Б.И. Руднев, О.В. Повалякина // -Тепловые процессы в технике. -2017. -Т.9. -№9. -С. 422-425.

REFERENCES

- 1 Petrichenko R.M., Baturin S.A., Isakov Yu.N. Elements of computer-aided design of ICE: Applied software algorithms [Elementy avtomatizirovannogo proektirovaniya DVS: Algoritmy prikladnykh program]. Leningrad. Mashinostroenie Publ. 1990. 328 p.
- 2 Kucherov V.N. Method of radiation angle factors calculation in marine diesel combustion chamber [Metod rascheta geometricheskikh uglovykh koeffitsientov izlucheniya v kamere sgoraniya sudovogo malooborotnogo dizelya]. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2017. No. 3-4. pp. 149-152.
- 3 Rudnev B.I. Areal heat exchange processes in diesel engine internal combustion [Protsessy lokal'nogo teploobmena v kamere sgoraniya dizelej]. Vladivostok. Dal'nauka Publ. 2000. 221 p.
- 4 Rudnev B.I., Povalikhina O.V. Mathematical modeling of radiative heat transfer in the combustion chamber of marine diesel engine [Matematicheskoe modelirovanie radiatsionnogo teploobmena v kamere sgoraniya sudovogo dizelya]. Thermal processes in engineering [Teplovy protsessy v tekhnike]. 2017. Vol. 9. No. 9. pp. 422-425.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *судовой дизель, камера сгорания, оптико-геометрические характеристики, теплообмен излучением*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Руднев Борис Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз»*
Повалякина Ольга Владимировна, доцент ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690087, г.Владивосток, ул.Луговая, 52Б, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз»*

ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВЕСКОЙ НУЛЕВОЙ ЖЁСТКОСТИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.М. Барановский, А.Н. Спиридонова

CONTROL PRINCIPLES OF ZERO STIFFNESS SUSPENSION

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia
Aleksandr M. Baranovsky (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)
Anna N. Spiridonova (Graduate student of SSUWT)

ABSTRACT: The article considers the stages of theory development and the main problems of the vibration-proof suspension synthesis for ship equipment. Methods for controlling the position of the vibration source based on the third integral of the dynamics equation are proposed.

Keywords: vibration-proof suspension, control methods

Рассмотрены этапы развития теории и основные проблемы синтеза виброзащитной подвески судового оборудования. Предложены методы управления положением источника вибрации на основе третьего интеграла уравнения динамики.

Развитие подвесок нулевой жёсткости занимает исторический промежуток шестьдесят лет. Первые опубликованные работы [1] относятся к системам, работающим только на одном усилии и применяемым в упаковках радиоаппаратуры и подобных компонентов, чувствительных к ударам. Упоминания о системах пониженной жёсткости, вплоть до нулевых значений, можно найти ещё ранее в трудах С.П. Тимошенко [2]. Причина того, что исследователи игнорировали существование нулевой и, тем более, отрицательной жёсткости кроется в том, что уравнения динамики таких систем трудно интегрировать. В результате кроме очевидной неустойчивости возникали причудливые решения, которые, впрочем, существовали в рамках КАМ-теоремы. Наиболее серьёзный вклад в развитие виброзащитных систем «квазинулевой» жёсткости был сделан школой профессора П.М. Алабужева, который собрал сильную команду механиков в Томском политехническом институте. В числе наиболее выдающихся последователей можно назвать профессора А.К. Зуева, под руководством которого были сделаны многие технические открытия в подвесках энергетического оборудования, ударного инструмента, подвесках кресел экипажей скоростных судов и локомотивов. Главная трудность, с которой практически безуспешно боролись последователи школы А.К. Зуева, состояла в том, что переход на новую нагрузку сопровождался резким ухудшением виброизоляции. Это было связано с ударами в ограничители хода ползуна. Лучшие характеристики показывали системы с выключением корректора жёсткости в процессе перестройки. Поскольку многие объекты техники постоянно находятся в переменном режиме, использование подвесок нулевой жёсткости не получило широкого распространения.

Дальнейшим развитием идеи нулевой жёсткости явилось использование активных подвесок с подводом энергии к основному упругому элементу. Интересное техническое решение было предложено в работе [3]. В основе этого решения был использован самотормозящийся ползун. Режим колебаний выбирался так, чтобы возникала отрицательная обратная связь по смещению защищаемого объекта. Результаты испытаний оказались обнадеживающими при медленном изменении положения источника вибрации, поскольку большие скорости приводили к нарушению обратной связи. Специальный источник энергии снимает эту проблему, но здесь выявились обычные недостатки, например, потеря устойчивости с ростом усиления обратной связи и самовозбуждение системы.

Другая трудность повышения качества виброизоляции связана с передачей энергии вибрации через упругий элемент. Если массу элементов механизма корректора можно сделать несущественной, то массу основного упругого элемента снизить невозможно по условию прочности. В работах [4, 5] были сделаны определённые шаги по переводу энергии одноосных колебаний в колебания по трём направлениям и по множеству степеней свободы. Это позволило улучшить эффект на 9 дБ на частотах до 500 Гц, но не снижало передачу высокочастотных колебаний на судовой фундамент, поскольку пружина как кривой брус остаётся весьма добротным волноводом.

Вторая принципиальная задача, которую необходимо решить, вытекает из противоречия между высокой жёсткостью, принимаемой по условию устойчивости системы и низкой жёсткостью по условию эффективной виброизоляции. Упор, реактивный момент, качка и другие факторы требуют высокой жёсткости, которая создаёт потенциал упругих сил консервативной системы, с неизбежным появлением резонансов.

Таким образом, появляется задача создания подвески, не содержащей упругих элементов и обратной связи по перемещению. В такой подвеске сила тяжести должна быть уравновешена противоположной силой, не зависящей от смещения и скорости смещения, а стабилизирующее воздействие не должно зависеть от положения источника вибрации. Эти два условия полностью противоречат устоявшемуся методу синтеза подвесок, поскольку уравнения движения не содержат упругих и вязких сил. Принципиально такая подвеска была предложена в работе [6], где сила создавалась парой сухого трения. Математическая модель содержала уравнение динамики, в котором сила упругости была заменена силой сухого трения. Условный оператор контролировал разницу виброскорости и скорости скольжения фрикционных. Модель показала высокую эффективность виброизоляции в стационарном режиме и развитие переходных режимов при недостаточной скорости скольжения. Однако вопрос перестройки подвески на переменную нагрузку не был решён. Попытка использования обратной связи по перемещению приводила к обычному уравнению динамики системы с упругой связью и появлением резонанса.

Существенного улучшения эффективности подвески удалось достигнуть при использовании интеграла перемещения вместо перемещения. Такие системы широко применяются как ПИ-регуляторы в различных областях техники. Для верификации метода было проведено сравнение решений двух независимых уравнений второго и третьего порядка. Ожидаемый результат состоял в том, что первый и второй интеграл совпадут для обоих уравнений. После интегрирования обоих уравнений был получен одинаковый результат для уравнения второго и третьего порядка (рисунки 1 и 2).

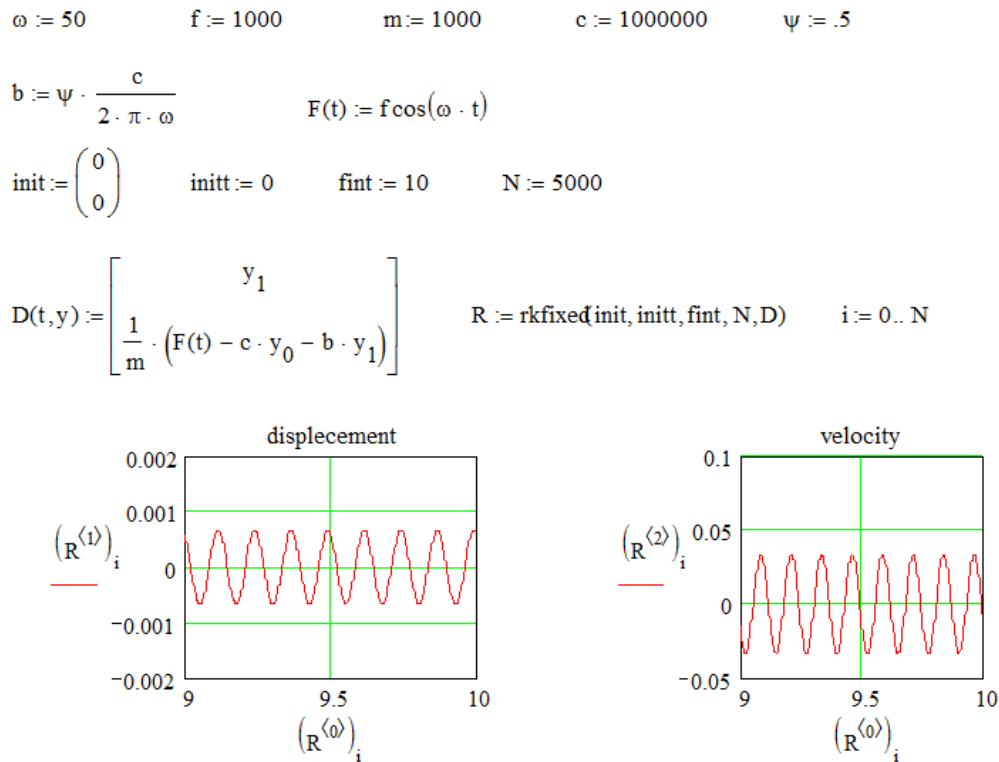


Рисунок 1 – Скриншот уравнения динамики для вязкоупругой системы

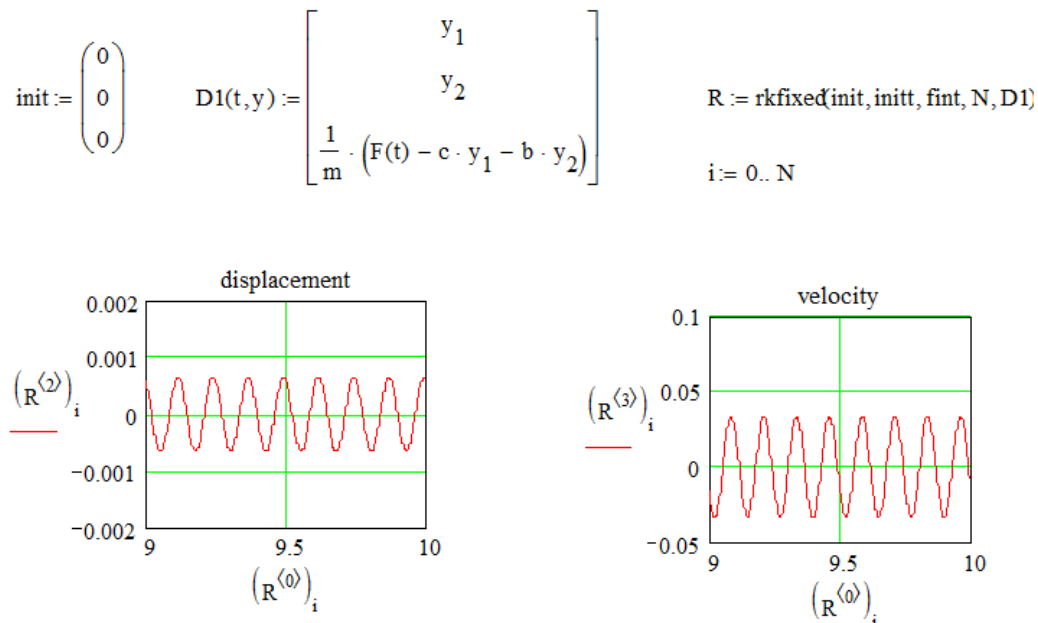


Рисунок 2 – Скриншот уравнения третьего порядка для вязкоупругой системы

Вывод. Использование обратной связи по интегралу перемещения стабилизирует источник вибрации без снижения эффективности подвески.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Зуев, А.К. Применение систем постоянного усилия / А.К. Зуев // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. - 2011. - №2. - С. 170-175.
- 2 Тимошенко, С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Уивер. Пер. с англ. Л.Г. Корнейчука. - М.: Машиностроение, 1985. - 472 с.
- 3 Барановский, А.М. Переходные процессы при перестройке механизма соединительной муфты / А.М. Барановский // Динамика судовых механизмов и машин: сб. науч. тр. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. инст. инж. водн. трансп., 1985. - С. 29-33
- 4 Щербакова О.В. Виброизоляция структурного шума на судах: дис. ... канд. тех. наук: 05.08.05 / Щербакова Ольга Валерьевна. - Новосибирск, 2014. - 150 с.
- 5 Федосеева М.А. Система защиты корпуса от шума и вибрации судовой энергетической установки: дис. ... канд. тех. наук: 05.08.05 / Федосеева Марина Александровна. - Новосибирск, 2016. - 145 с.
- 6 Барановский, А.М. Передача вибраций силой сухого трения / А.М. Барановский, А.К. Зуев // Динамика судовых энергетических установок: сб. научн. тр. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2001. - С. 47-51.

REFERENCES

- 1 Zuev A.K. Application of constant hanger support [Primenenie sistem postoyannogo usiliya]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2011. No. 2. pp. 170-175.
- 2 W. Weaver, Donovan Harold Young. *Vibration Problems in Engineering*. N.Y.: Wiley-Interscience, 1990. - 624 p.
- 3 Baranovskii A.M. Transient processes during the adjustment of the coupling mechanism [Perekhodnye protsessy pri perestroike mekhanizma soedinitel'noi mufty]. Dynamic performance of ship power plants [Dinamika sudovykh mekhanizmov i mashin]. Novosibirsk: Novosibirsk Institute of Water Transp. Engineers Publ., 1985. pp. 29-33
- 4 Shcherbakova O.V. Structure-borne noise reducing via vibration isolation on ships [Vibroizolyatsiya strukturnogo shuma na sudakh]. Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. Publ., 2014. 150 p.
- 5 Fedoseeva M.A. Protection of the hull against noise and vibration of the ship power plant [Sistema zashchity korpusa ot shuma i vibratsii sudovoi energeticheskoi ustanovki]. Novosibirsk: Siberian St. Univ. of Water Transp. Publ., 2016. 142 p.
- 6 Baranovskii A.M., Zuev A.K. Transmission of vibrations by the dry friction [Peredacha vibratsii siloi sukhogo treniya]. Dynamic performance of ship power plants [Dinamika sudovykh energeticheskikh ustanovok]. Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. Publ., 2001. pp. 47-51.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

виброзащитная подвеска, методы управления

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Барановский Александр Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Спиридонова Анна Николаевна, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОПЛИВОПОДАЧИ И СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ НА ВНЕШНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

В.И. Кочергин, Д.Л. Плотников

INVESTIGATION OF THE JOINT IMPACT OF PARAMETERS OF FUEL SUPPLY AND AUTOMATIC RPM CONTROL SYSTEMS TO EXTERNAL CHARACTERISTICS OF POWER UNITS

Siberian Transport University (STU) 191, Dusi Koval'chuk St., Novosibirsk, 630049, Russia

Viktor I. Kochergin (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of STU)

Daniil L. Plotnikov (Master's Degree of STU)

ABSTRACT: This article proves the necessity of studying the joint influence of the parameters of fuel equipment and rpm control systems of modern diesels on external characteristics of power units. Authors propose a method of optimizing the insensitivity ratio of rpm controller.

Keywords: automatic rpm control systems, insensitivity ratio, stability criterion, hodograph

Обоснована необходимость исследования совместного влияния параметров топливоподающей аппаратуры и систем регулирования частоты вращения современных дизельных двигателей на внешние характеристики энергетических установок. Предложена методика оптимизации степени нечувствительности регулятора частоты вращения.

Для судовых энергетических установок, также как и для любого технологического оборудования, чрезвычайно важным является поддержание работоспособности систем автоматического регулирования частоты вращения (САРЧ) в течение всего срока эксплуатации машин и обеспечение их оптимальных динамических характеристик [1-3]. В энергетических установках, оснащённых дизельными двигателями внутреннего сгорания (ДВС), в процессе управления топливоподачей в связи с изменением по времени наступления эффекта самовоспламенения топлива и ряда других причин возможно изменение временных и скоростных параметров распространения фронта пламени и нарастания давления в цилиндрах. Как следствие, возникает фазовый сдвиг между положением органа топливоподачи и фактическим началом такта расширения, который целесообразно учитывать для обеспечения необходимой степени неравномерности крутящего момента при работе двигателя в условиях как

установившихся, так и неустойчивых режимов. Кинетика сгорания топлива оказывает влияние на скорость поршня, поскольку при условно адиабатическом процессе сгорания топлива в цилиндрах ДВС, описываемом известным уравнением термодинамики $pV^n = \text{Const}$, различный характер нарастания давления в камере сгорания должен неизбежно вызывать и отличия в нарастании скорости поршня и, следовательно, изменение текущих значений внутрициклового неравномерности частоты вращения и крутящего момента. Это доказывается экспериментальными исследованиями, проведёнными с использованием добавок к основному углеводородному топливу дизельных ДВС водородсодержащего синтез-газа [4, 5].

Очевидно, что на динамические и статические показатели качества процессов регулирования положительно влияет уменьшение степени нечувствительности регулятора. В то же время, её существенное уменьшение приводит к вероятности возникновения высокочастотных колебаний и автоколебаний в САРЧ, и, в итоге, к снижению устойчивости системы регулирования. Параметры автоколебаний в САРЧ, такие, как амплитуда, частота и смещение относительно заданного значения регулируемой величины, зависят не только от размера зоны нечувствительности регулятора, но и от пределов изменения регулируемой величины.

Особенностью современных способов регулирования частоты вращения путём своевременного изменения величины цикловой подачи топлива является дискретность получения информации и формирования управляющих сигналов. При этом при минимизации величины степени нечувствительности регулятора возникает вопрос: необходимо ли системе автоматического регулирования частоты вращения в случае использования современных систем подачи топлива с электронным управлением многофазным впрыском топлива, оказывающим существенное влияние на кинетические процессы горения топлива и, как следствие, на параметры неравномерности вращения энергетической установки, реагировать на каждое внутрицикловое изменение угловой скорости коленчатого вала? Для устранения данной проблемы необходимо решение задачи оптимизации величины степени нечувствительности регуляторов частоты вращения, посредством определения критериев обеспечения наибольшей эффективности системы, то есть, приспособленности к достижению поставленной цели. В данном случае предпочтительным представляется использование мультипликативного критерия. В качестве положительного ограничения в такой целевой функции можно принять быстродействие, обеспечивающее необходимый коэффициент усиления системы, то есть, отношение амплитуды колебаний регулируемого параметра и амплитуды возмущающего воздействия [6]. В качестве же отрицательных ограничений возможно использование сил трения, объективно присутствующих в регуляторе. Если регулирование частоты вращения происходит посредством электронных систем, которые, также как и механические устройства, обладают собственной частотой колебаний, то в качестве аналога сил трения можно представить запаздывание управляющего сигнала.

Построение амплитудно-фазовых частотных характеристик с целью анализа совместного движения компонентов системы «ДВС-САРЧ-система топливоподачи-потребитель энергии» и устойчивости системы автоматического управления невозможно без учёта характера конкретных передаточных функций. В первую очередь, для определения передаточ-

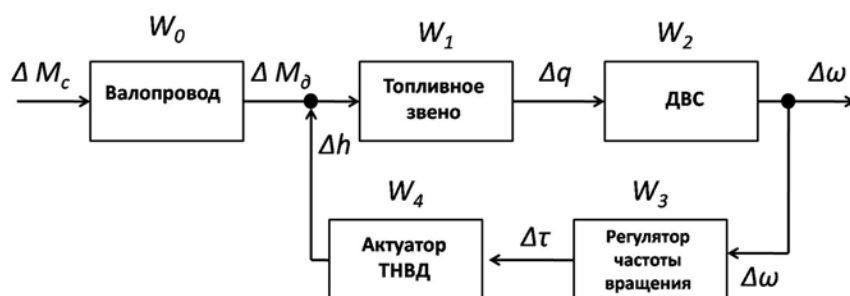


Рисунок 1 – Уточнённая структурная схема системы автоматического регулирования частоты вращения

ных функций САРЧ необходима разработка уточнённой структурной схемы, учитывающей наличие электронных систем управления органами топливоподачи, валопроводов и гребных винтов, а также влияние кинетики горения и иных факторов, вызывающих запаздывание управляющего сигнала. На рисунке 1 представлен вариант такой структурной схемы. Данная схема описывает взаимодействие элементов САРЧ, топливной аппаратуры с управлением величиной подачи топлива (положением рейки топливного насоса) посредством широтно-импульсной модуляции сигналов, поступающих на актуатор исполнительного механизма то-

пливной системы, и собственно дизельного двигателя внутреннего сгорания. Здесь в упрощённой до определённой степени традиционной схеме замкнутой системы регулирования с обратной связью учтено наличие инерционных звеньев, в том числе, топливного звена, и демпфирования в валовой линии привода потребителя энергии (гребного винта).

Если аналитически рассчитать передаточные функции не представляется возможным, то характеристики звеньев управления определяются по переходным характеристикам разомкнутой цепи управления, что, впрочем, также является технически сложной задачей. Данная система замкнута отрицательной обратной связью. Используя известные из теории автоматического регулирования принципы преобразования передаточных функций многозвенных систем регулирования [7], получим итоговое выражение суммарной передаточной функции упрощённой динамической системы регулирования частоты вращения дизельного двигателя

$$W_{\Sigma}(p) = \frac{W_1 W_2}{1 + W_1 W_2 W_3 W_4} - W_0.$$

Рассмотрим построение амплитудно-фазово-частотных характеристик (АФЧХ) применительно к разработанной уточнённой структурной схеме системы автоматического регулирования, являющейся системой первого порядка. Построение АФЧХ является сложным и трудоёмким процессом, поэтому здесь необходимо использовать специальный математический аппарат. С этой целью предлагается использовать математическую среду Maple [8, 9]. Аналитические конструкции, являющиеся основой данной среды, позволяют самостоятельно получить подходящие расчётные зависимости при определении передаточных функций и увеличить производительность и точность численных расчетов.

В качестве критерия устойчивости системы регулирования в данном математическом аппарате существует возможность построения годографа Михайлова. Полученные в результате проведённых расчётов результаты показывают, что исследуемая система является устойчивой, но только в определённом диапазоне частот (рисунок 2а). Если же при выполнении расчётов в соответствующей команде увеличить в два раза диапазон изменения частоты, то график годографа Михайлова приобретает изображённый на рисунке 2б вид, где все полученные значения лежат в отрицательной области, что свидетельствует о неустойчивости системы.

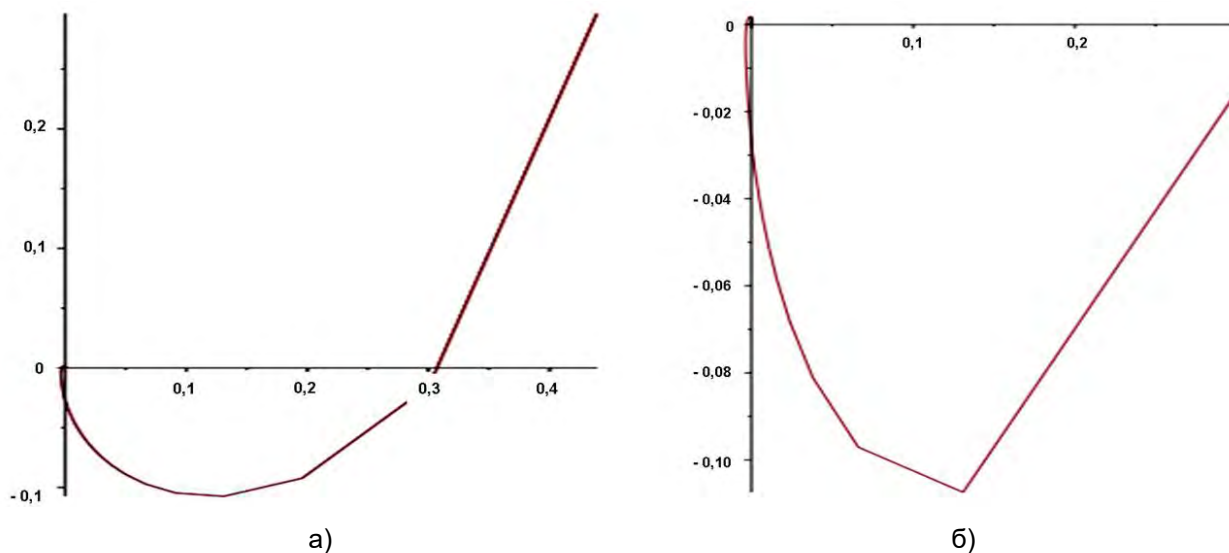


Рисунок 2 – Годограф Михайлова: а)-при диапазоне изменения частот 1-500; б)-при диапазоне изменения частот 1-1000

С помощью математической среды Maple были исследованы возможные соотношения параметров управления топливоподачей энергетической установки с целью определения режимов, обеспечивающих устойчивость системы регулирования. Во-первых, было исследовано поведение САРЧ при большой величине степени нечувствительности регулятора частоты вращения. В этом случае в диапазоне частот 1-500 устойчивость системы не претерпевает критических изменений, а в диапазоне 1-1000 годограф Михайлова приобретает

изображённый на рисунке 3а вид. Во-вторых, были заданы параметры САРЧ, соответствующие низким значениям степени нечувствительности, при которых в системе высока вероятность возникновения резонансных колебаний. В этом случае расчёты опять показывают достаточно низкую степень устойчивости системы регулирования в значительной области частот. Об этом свидетельствует приведённый на рисунке 3б характер кривой, определяющей годограф Михайлова.

Полученные данные дают основание сделать вывод о правомерности методического подхода к исследованию совместного влияния параметров топливоподачи и систем автоматического регулирования частоты вращения на внешние характеристики энергетических установок и, в частности, к оптимизации величины степени нечувствительности регулятора частоты вращения, как к оценке совместного влияния диапазона частот влияния колебаний элементов системы регулирования частоты вращения и управления подачей топлива на возникновение резонансных высокочастотных колебаний в САРЧ.

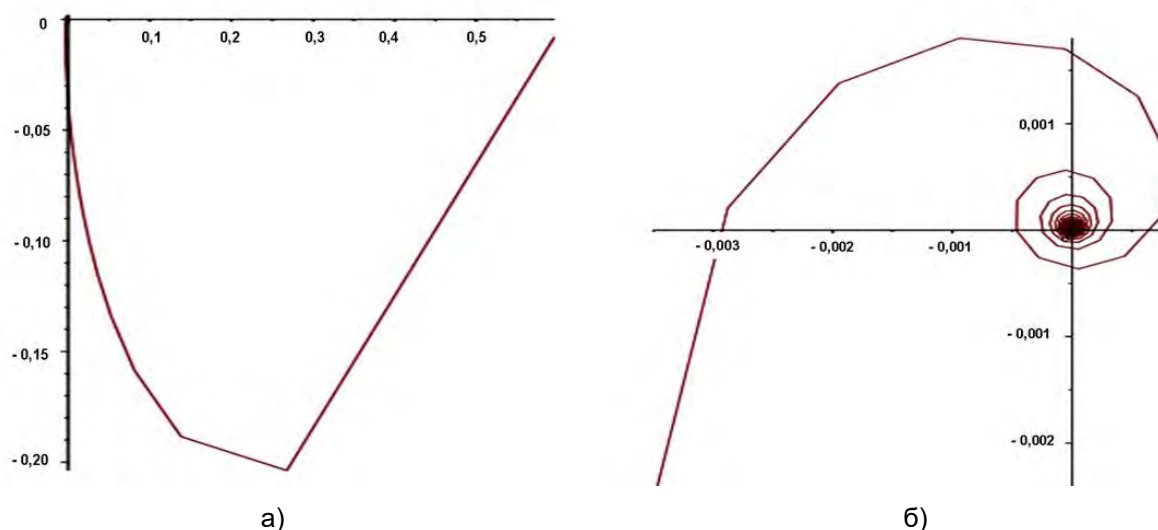


Рисунок 3 – Годограф Михайлова: а)-при диапазоне изменения частот 1-500 и большой величине степени нечувствительности регулятора; б)-при диапазоне изменения частот 1-1000 и низкой степени нечувствительности регулятора

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кочергин, В.И. Оценка технического состояния систем автоматического регулирования частоты вращения / В.И. Кочергин, А.С. Алехин // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2014. -№1-2. -С. 286-289.
- 2 Кочергин, В.И. Контроль технического состояния систем автоматического регулирования / В.И. Кочергин, С.П. Глушков // -Вестн. Пермского национ. иссл. политех. унив.: Машиностроение, машиноведение. -2016. -Т. 18. -№3. -С. 107-118.
- 3 Глушков, С.С. Динамические характеристики ДВС / С.С. Глушков, С.П. Глушков, А.В. Савельев, А.С. Ярославцева // Сибирский научный вестник: сб. науч. тр. Рос. Акад. Естеств. Наук. Вып.Х -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2007. -С. 164-167.
- 4 Глушков, С.П. Влияние использования альтернативных видов топлива на характеристики рабочих процессов ДВС / С.П. Глушков, В.И. Кочергин, В.В. Красников // -Вестн. Астрах. гос. техн. унив. Серия: Мор. техника и технологии. -2018. -№1. -С. 24-32.
- 5 Глушков, С.П. Влияние кинетики горения топлива на параметры неравномерности вращения судовых энергетических установок / С.П. Глушков, Д.Ю. Косенко, В.И. Кочергин, В.В. Красников // -Морские интеллектуальные технологии. -2017. -№2. -С. 35-41.
- 6 Глушков, С.П. Виброизоляция тепловых двигателей / С.П. Глушков. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 1999. -215 с.
- 7 Иващенко, Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем / Н.Н. Иващенко. -М.: Машиностроение, 1973. -606 с.

REFERENCES

- 1 Kochergin V.I., Alekhin A.S. Evaluation of technical condition of automatic RPM control systems [Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya chastoty vrashcheniya]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2014. No. 1-2. pp. 286-289.
- 2 Kochergin V.I., Glushkov S.P. Technical inspection of automatic RPM control systems [Kontrol' tekhnicheskogo sostoyaniya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, mashinovedenie*. 2016. Vol. 18. No. 3. pp. 107-118.
- 3 Glushkov S.S., Glushkov S.P., Savel'ev A.V., Yaroslavl'tseva A.S. Dynamic characteristics of ICE [Dinamicheskie kharakteristiki DVS]. *Sibirskii nauchnyi vestnik*. Vol.10. -Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. Publ., 2007. pp. 164-167.
- 4 Glushkov S.P., Kochergin V.I., Krasnikov V.V. The effect of using alternative fuels on ICE work processes [Vliyanie ispol'zovaniya al'ternativnykh vidov topliva na kharakteristiki rabochnik protsessov DVS]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*. 2018. No. 1. pp. 24-32.
- 5 Glushkov S.P., Kosenko D.Yu., Kochergin V.I., Krasnikov V.V. The effect of fuel combustion kinetics on the parameters of irregularity of rotation of ship power plants [Vliyanie kinetiki goreniya topliva na parametry neravnomernosti vrashcheniya sudovykh energeticheskikh ustanovok]. *Marine intellectual technologies [Morskie intellektual'nye tekhnologii]*. 2017. No. 2. pp. 35-41.
- 6 Glushkov S.P. Heat engine vibration isolation [Vibroizolyatsiya teplovykh dvigatelei]. Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. Publ., 1999. -215 p.
- 7 Ivashchenko N.N. Automatic control. Elements of system theory [Avtomaticheskoe regulirovanie. Teoriya i elementy system]. -Moscow:

8 Сараев, П.В. Основы использования математического пакета MAPLE в моделировании / П.В. Сараев. - Липецк: Изд-во Межд. инст. компьютерных технол., 2006. -119 с.

9 Емельянова, Д.К. Построение АФЧХ системы автоматического регулирования в среде Maple / Д.К. Емельянова // -Молодой ученый. -2016. -№10. -С. 197-201.

Mashinostroenie Publ., 1973. 606 p.

8 Saraev P.V. Basics of mathematical modeling using Maple [Osnovy ispol'zovaniya matematicheskogo paketa MAPLE v modelirovani]. Lipetsk: International Inst. of Computer Techn. Publ., 2006. -119 p.

9 Emel'yanova D.K. Plotting frequency response of automatic control system in Maple [Postroenie AFChKh sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya v srede Maple]. Molodoi uchenyi. 2016. No. 10. pp. 197-201.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автоматическое регулирование частоты вращения, степень нечувствительности, критерий устойчивости, годограф

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кочергин Виктор Иванович, канд. техн. наук, доцент СГУПС

Плотников Даниил Львович, магистрант СГУПС

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, СГУПС

ПЕРСПЕКТИВНАЯ СИСТЕМА ТОПЛИВОПОДГОТОВКИ ДЛЯ РАБОТЫ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА НИЗКОСЕРНИСТЫХ МАЛОВЯЗКИХ ДИСТИЛЛЯТНЫХ ТОПЛИВАХ

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»
Вьетнамский морской университет

А.В. Надежкин, И.В. Соколова, К.Х. Лыу, М.Е. Старченко

A PROMISING FUEL PREPARATION SYSTEM FOR THE OPERATION OF MARINE DIESEL ENGINES ON LOW-SULFUR LOW-VISCOSITY DISTILLATE FUELS

Maritime State University named after admiral G.I.Nevelskoi (MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)
50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia

Vietnam Maritime University (VMU) 484 Lach Tray, Ngo Quyen, Haiphong, Vietnam

Andrei V. Nadezhkin (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

Irina V. Sokolova (Ph.D. of Engineering Sciences, Senior Research Officer of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

Quang H. Luu (Ph.D. of Engineering Sciences, Senior Lecturer of VMU)

Mikhail E. Starchenko (Graduate student of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

ABSTRACT: It is shown that in connection with new environmental standards coming into effect, low-sulfur, low-viscous distillate fuels have become widely used on ships, which leads to increased wear of fuel equipment. The tribotechnical characteristics of such fuels have been improved by a complex method. The method includes the addition of vegetable oils in the fuel to improve anti-wear properties and cool the fuel mixture to increase the viscosity. A promising fuel preparation system for the operation of marine diesel engines on low-sulfur low-viscosity distillate fuels is given. Its use provides an improvement in the parameters of low-sulfur low-viscosity distillate fuels and improves the operational reliability of the operation of fuel equipment for marine diesel engines.

Keywords: ship diesels, palm oil, fuel systems, mixed fuels, distillate fuels

Показано, что в связи с введением новых экологических норм на судах стали широко применяться низкосернистые маловязкие дистиллятные топлива, что приводит к повышенному износу топливной аппаратуры. Предложено улучшение триботехнических характеристик таких топлив комплексным методом. Метод включает в себя добавление в состав топлива растительных масел с целью улучшения противоизносных свойств и охлаждение топливной смеси для увеличения вязкости. Дана перспективная система топливоподготовки для работы судовых дизелей на низкосернистых маловязких дистиллятных топливах. Её использование обеспечивает улучшение параметров низкосернистых маловязких дистиллятных топлив и повышает эксплуатационную надежность работы топливной аппаратуры судовых дизелей.

В настоящее время наблюдается тенденция к уменьшению содержания серы в бункерных топливах для судовых двигателей с целью улучшения их экологических характеристик. В соответствии с требованиями Приложения VI конвенции МАРПОЛ 73/78 наиболее жесткие требования выработаны для районов контроля вредных выбросов – SO_x Emission Control Areas. С 1 января 2015 г. для всех судов при заходе в зоны SECA содержание SO_x в выхлопных газах не должно превышать 0,4 г/(кВт·ч), что обеспечивается при содержании серы в судовом дистиллятном топливе менее 0,1% [1, 2]. География зон SECA стремительно расширяется. Сейчас они занимают около 10% акваторий мирового океана.

Однако многочисленные эксперименты и результаты эксплуатации двигателей с использованием низкосернистых дистиллятных топлив, как в России, так и за рубежом, выявили высокую интенсивность изнашивания прецизионных пар топливной аппаратуры. Снижение содержания серы в топливе приводит к ухудшению их противоизносных свойств, вследствие чего идет интенсивное изнашивание трущихся пар топливной аппаратуры (ТА) двигателей.

На рисунке 1 представлены обобщенные литературные данные по влиянию на ресурс топливных насосов автомобильных и тракторных двигателей при использовании топлива с различным содержанием серы. На топливе с 0,2% серы срок службы топливных насосов высокого давления (ТНВД) достигает 200 тыс. км пробега и более. На топливе с содержанием серы 0,001% механические повреждения, приводящие к отказу ТА, отмечаются уже при пробеге в 3,2-12,8 тыс. км [3, 4].

Одним из способов регулирования противозносных свойств топлив, является улучшение их триботехнических характеристик за счет добавления в низкосернистые мажущие дистиллятные топлива (НМДТ) масел растительного происхождения. Нами в качестве растительной добавки к НМДТ предложено пальмовое масло. Проведено исследование влияния добавки пальмового масла (ПМ) на физико-химические свойства топливной смеси и трибологические характеристики.

Однако процесс добавления ПМ в НМДТ не может быть бесконтрольным. Существуют критические параметры, ограничивающие объем ПМ в смешанном топливе. Такими параметрами являются кислотное число и коксуемость НМДТ.

Смолистые вещества, находящиеся в пальмовом масле, способствуют увеличению коксуемости смешанных топлив. При добавлении до 5% массы ПМ в НМДТ его коксуемость не выходит за границы значений, которые установлены требованиями стандартов на морские бункерные топлива [5, 6]. По требованию стандартов, показатель «Коксуемость 10%-ного остатка» у НМДТ не должен превышать 0,3%, а коксуемость смешанного топлива составляет 0,274% при добавлении в них 5% ПМ по массе. Дальнейшее увеличение концентрации ПМ в составе смешанного топлива приводит к росту величины коксуемости и превышению значения этого показателя над установленными требованиями вышеуказанных стандартов. По этой причине добавка ПМ в смешанное топливо в концентрации более 5-7% недопустима, так как в результате добавления такого количества ПМ в НМДТ происходит повышенное нагарообразование, образуются отложения на форсунках и в камере сгорания судовых дизелей [7].

Вторым показателем, лимитирующим концентрацию ПМ в составе смешанного топлива, является кислотное число. Повышенная кислотность топлив вызывает коррозию деталей системы топливоподачи двигателя. Требованиями вышеуказанных стандартов величина этого показателя у НМДТ не должна превышать 0,5 мг-КОН/г, в то время, как у ПМ измеренное значение этого параметра составляет 2,59 мг-КОН/г. При добавлении 5% ПМ значение кислотного числа у смешанного топлива значительно возрастает по сравнению с исходным судовым дистиллятным топливом и составляет 0,22 мг-КОН/г [7].

В работе [7] было показано, что при концентрации ПМ до 5% все физико-химические показатели смешанных топлив находятся в пределах требований нормативной документации на судовое топливо [5, 6]. И применение смешанного топлива с ПМ в судовом дизеле, в концентрации до 5%, не оказывает существенного влияния на изменение параметров рабочего процесса [8].

Однако при применении низкосернистых судовых дистиллятных топлив негативное влияние на ресурсные показатели ТА оказывает не только низкое содержание серы, но и низкая вязкость этих топлив.

В соответствии с требованием стандартов на судовые бункерные топлива [5, 6] нижний предел вязкости судовых дистиллятных топлив с низким содержанием серы составляет 1,4 сСт. При эксплуатации судовых энергетических установок температура в машинно-котельном отделении, особенно в тропических широтах может достигать 50-55 °С. При этом температура самого дистиллятного топлива имеет значение 60-65 °С. Поэтому их вязкость может оказаться значительно ниже 2 сСт. Компания MAN Diesel особо указывает на серьезные проблемы, которые могут возникать у ТА, если вязкость топлива окажется ниже 2 сСт [9]. Более того, она требует от судовладельцев принимать эффективные меры для предот-

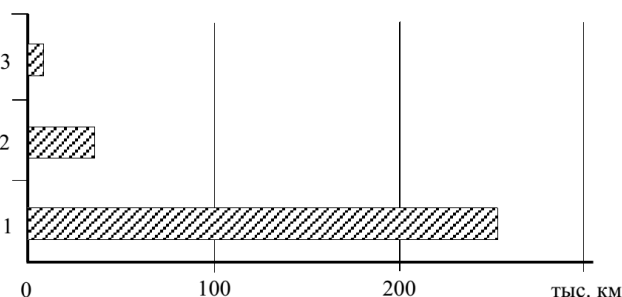


Рисунок 1 – Влияние содержания серы в топливе на наработку ТНВД: 1-содержание серы до 0,2%; 2-содержание серы до 0,005%; 3-содержание серы до 0,001%

вращения снижения вязкости судовых топлив ниже указанного предела.

В связи с этим, компания MAN Diesel&Turbo рекомендует установку дополнительного охладителя в виде компрессорной холодильной установки в топливную систему. Она позволяет регулировать значение вязкости топлива на входе в двигатель в любом диапазоне. В этом случае температура топлива перед ТНВД не зависит от значений температуры охлаждающей воды и может достигать достаточно низких значений [9].

Однако в этой системе не предусмотрен контроль за нижним значением температуры охлаждения топлива. Оно может быть переохлаждено. В результате чего его температура станет ниже температуры помутнения. Образовавшиеся кристаллы парафинов заблокируют поры топливного фильтра и двигатель остановится, что создаст аварийную ситуацию в море. Во-вторых, как показали выполненные нами исследования, при добавлении растительного компонента в виде ПМ в НМДТ его предельная температура

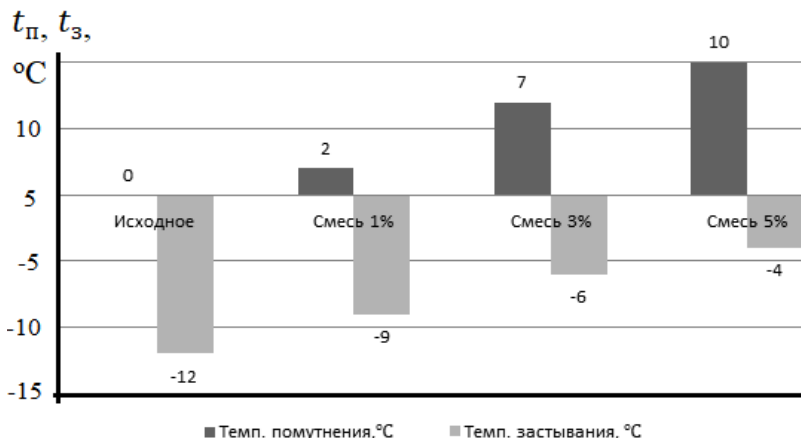


Рисунок 2 – Изменение температуры помутнения и застывания смесевых топлив при добавлении ПМ

фильтруемости увеличивается (рисунок 2.). При охлаждении такого смесевого топлива его помутнение начинается при более высоких температурах, чем у исходного НМДТ.

Для устранения всех отмеченных выше недостатков была разработана перспективная система топливоподготовки для работы судовых дизелей на НМДТ [10], схема которой представлена на рисунке 3.

Одной из её особенностью является применение абсорбционной холодильной машины (АБХМ), которая утилизирует низкопотенциальную теплоту охлаждающей воды из высокотемпературного контура главного дизеля. В результате решаются вопросы экономии топливно-энергетических ресурсов, а также защиты окружающей среды от вредных выбросов.

При переходе дизеля на работу на НМДТ, топливо из цистерны для НМДТ 4, через фильтр грубой очистки 5 поступает во вход бустерного насоса 6. По трубопроводам оно идет через циркуляционный насос 8 помимо парового подогревателя топлива 9 и поступает в охладитель топлива 19. Охлаждающая вода от высокотемпературного контура главного дизеля по трубопроводу поступает в генератор АБХМ 18. Хладоноситель из генератора поступает в теплообменный аппарат 19, охлаждает топливо. Датчик прозрачности топлива 15 через блок управления 14 контролирует расход охлаждающей воды высокотемпературного контура дизеля через АБХМ 18. Как только температура топлива станет ниже температуры помутнения, сигнал от датчика 15 поступает в блок управления 14, который подает электроэнергию на поворотную заслонку 17. Поворотная заслонка 17 за счет изменения угла поворота уменьшает проходное сечение охлаждающей воды в АБХМ 18, тем самым уменьшается ее холодопроизводительность. Это позволяет поддерживать максимально допустимое значение вязкости так, чтобы топливо всегда было прозрачное, и его температура не достигала температуры помутнения при работе на НМДТ.

Для обеспечения строго дозированной подачи ПМ в НМДТ с тем, чтобы не выйти за границы критической концентрации ПМ, его добавление осуществляется на всасывании топливоперекачивающего насоса 31, который подает его из танка запаса 25 в отстойную цистерну 32. В танке ПМ 27 установлен подогреватель 28, который автоматический поддерживает фиксированную температуру ПМ равную 40 °C. На судне танки основного запаса 25 могут располагаться в междудонных и бортовых отсеках или диптанках и соответственно имеют разную температуру. Поэтому разряжение на всасывании топливного насоса постоянно меняется. Обеспечение строгой дозировки подачи ПМ в этих условиях осуществляется расходомером 30, который управляет регулирующим клапаном с электрическим приводом 29. Таким образом, даже если меняется вязкость топлива в танках запаса или его место распо-

ложения на судне, что приводит к изменению разряжения на всасывании насоса, то подобная система обеспечивает всегда строгую дозировку ПМ в НМДТ.

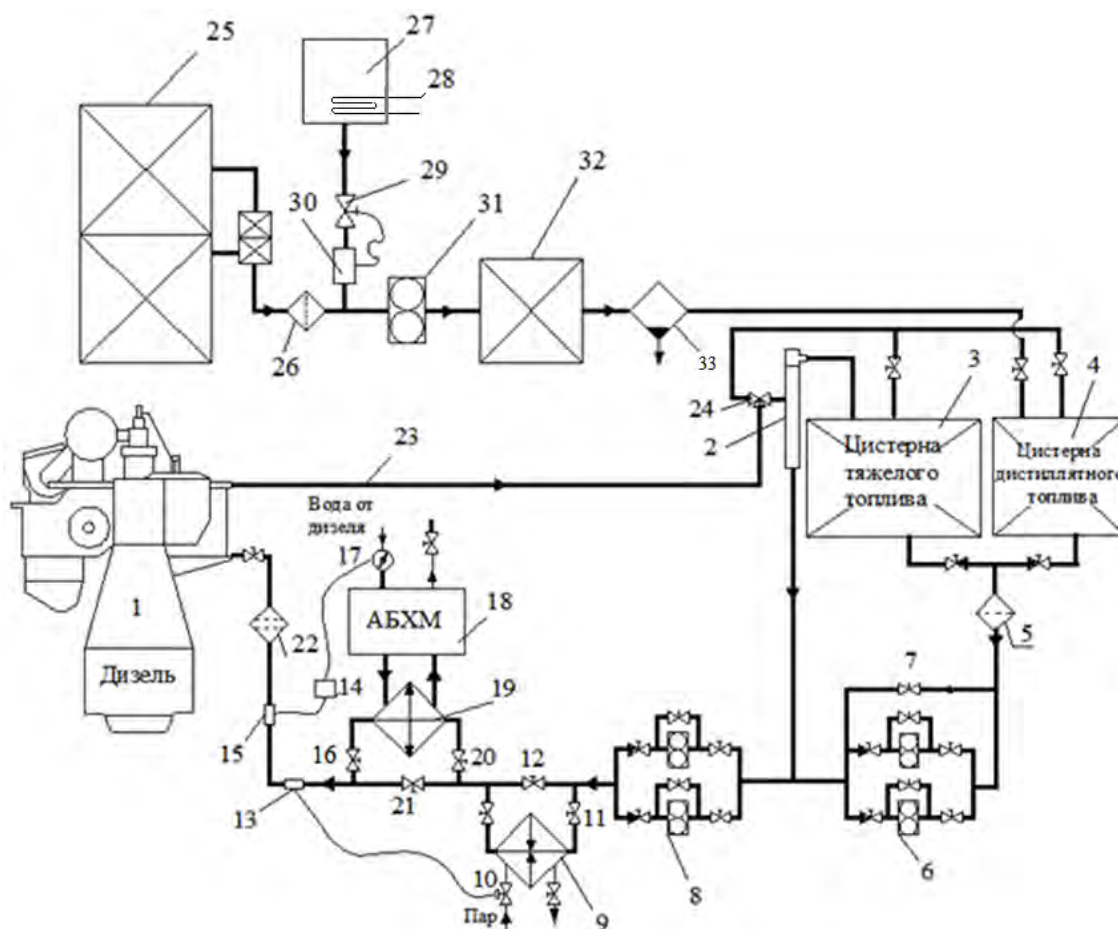


Рисунок 3 – Перспективная система топливоподготовки при работе на НМДТ: 1-дизель; 2-смеситель топлива; 3-цистерна тяжелого топлива; 4-цистерна дистиллятного топлива; 5-фильтр грубой очистки; 6-бустерный насос; 7-байпасный клапан; 8-циркуляционный насос (ЦН); 9-топливоподогреватель; 10-электромагнитный клапан; 11, 12, 20, 21-клапан; 13-вискозиметр; 14-блок управления; 15-датчик прозрачности; 17-поворотная заслонка с электрическим приводом; 18-АБХМ; 19-охладитель топлива; 22-фильтр тонкой очистки; 23-отсечный трубопровод; 24-трехходовой клапан; 25-танки запаса НМДТ; 26-фильтр; 27-бак для ПМ; 28-обогреватель; 29-регулирующий клапан с электрическим приводом; 30-расходомер; 31-топливоподкачивающий насос; 32-отстойная цистерна; 33-сепаратор

Использование предложенной перспективной системы топливоподготовки обеспечивает комплексное улучшение параметров НМДТ и повышает эксплуатационную надежность работы топливной аппаратуры судовых дизелей. С одной стороны, она способствует строгой дозированной подаче ПМ в НМДТ, а с другой предотвращает возможное помутнение НМДТ и достижение им предельной температуры фильтруемости, что может привести к возникновению аварийной ситуации. Дополнительный эффект заключается в существенной экономии топлива на охлаждение НМДТ за счет утилизации в АБХМ низкопотенциальной теплоты охлаждения главного двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 MARPOL: Annex VI and NTC 2008 with Guidelines for Implementation. -IMO, 2013. -24 p.
- 2 Тимофеев, О.Я. Особенности внедрения новых требований к экологической безопасности судов и морских установок в северных морях и на арктическом шельфе / О.Я. Тимофеев, Н.А. Вальдман, М.И. Крыжевич // -Арктика: экология и экономика. -2014. -№3. -С. 79-85.
- 3 Митусова, Т. Н. Улучшение смазывающих свойств дизельных топлив/ Т.Н. Митусова, С.А. Логинов,

REFERENCES

- 1 MARPOL: Annex VI and NTC 2008 with Guidelines for Implementation. IMO, 2013. 24 p.
- 2 Timofeev O.Ya, Val'dman N.A., Kryzhevich M.I. Features of the implementation of new requirements to environmental safety of ships and offshore installations in northern seas and the Arctic Shelf [Osobennosti vnedreniya novykh trebovaniy k ekologicheskoi bezopasnosti sudov i morskikh ustanovok v severnykh moryakh i na arkticheskom shel'fe]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. 2014. No. 3. pp. 79-85.
- 3 Mitusova T.N., Loginov S.A., Polina E.V., Rudyak K.B., Ka-

Е.В. Полина, К.Б. Рудяк, В.М. Капустин, А.Н. Луговской, Б.П. Выхгородский // -Нефтепереработка и нефтехимия. -2002. -№1. -С. 28-31.

4 Митусова, Т. Н. Современные дизельные топлива и присадки к ним / Т.Н. Митусова, Е.В. Полина, М.В. Калинина. -М.: Техника, 2002. -64 с.

5 ISO 8217-2012 Petroleum products-Fuels (class F) - Specification of marine fuels.

6 ГОСТ 32510-2013. Топлива судовые. Технические условия. -Введ. 01.01.2015. -М.: Стандартиформ, 2014. -19 с.

7 Надежкин, А. В. Исследование свойств судового топлива с растительными композициями / А.В. Надежкин, К.Х. Лыу // -Морской флот. -2016. -№4. -С. 18-20.

8 Надежкин, А. В. Исследование влияния добавки пальмового масла на характеристики топлива и параметры рабочего процесса судового дизеля / А.В. Надежкин, Х.Ч. Хьеу, К.Х. Лыу // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2016. -№1-2. -С. 44-48.

9 Operation on low-sulfur fuel two-stroke engines / MAN B&W Diesel A/S. Copenhagen, Denmark, 2005. -14 p.

10 Пат. №173930 Российская Федерация, МПК F02M53/00. Устройство для охлаждения дистиллятного топлива судового дизельного двигателя / Лыу К.Х., Надежкин А.В., Соколова И.В. -№2017111903; заявл. 10.04.2017; опуб. 19.09.2017, Бюл. №26. -7 с.

pustin V.M., Lugovskoi A.N., Vyzhgorodskii B.P. Improving the lubricity of diesel fuels [Uluchshenie smazyvayushchikh svoistv dizel'nykh topliv]. *Neftepererabotka i neftekimiya*. 2002. No. 1. pp. 28-31.

4 Mitusova T.N., Polina E.V., Kalinina M.V. Modern diesel fuels and additives [Sovremennye dizel'nye topliva i prisadki k nim]. Moscow. Tekhnika Publ. 2002. 64 p.

5 ISO 8217-2012 Petroleum products-Fuels (class F) - Specification of marine fuels.

6 GOST 32510-2013. Marine fuels. Technical specifications [Topliva sudovye. Tekhnicheskie usloviya]. Moscow. Standartinform Publ. 2014. 19 p.

7 Nadezhkin A.V., Lyu K.Kh. Investigation of properties of marine fuel blend with vegetable additives [Issledovanie svoistv sudovogo topliva s rastitel'nymi kompozitsiyami]. *Morskoi flot*. 2016. No. 4. pp. 18-20.

8 Nadezhkin A.V., Kh'eu Kh.Ch., Lyu K.Kh. Investigation of palm oil additives effect on fuel characteristics and parameters of operation of a marine diesel engine [Issledovanie vliyaniya dobavki pal'movogo masla na kharakteristiki topliva i parametry rabochego protsessa sudovogo dizelya]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2016. No. 1-2. pp. 44-48.

9 Operation on low-sulfur fuel two-stroke engines / MAN B&W Diesel A/S. Copenhagen, Denmark, 2005. 14 p.

10 Lyu K.Kh., Nadezhkin A.V., Sokolova I.V. Device for cooling distillate fuel for marine diesel engine [Ustroystvo dlya okhlazhdeniya distillyatnogo topliva sudovogo dizel'nogo dvigatelya]. *Izobreteniya Poleznye modeli*. Sept. 19, 2017. No. 26. 7 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

судовые дизели, пальмовое масло, топливные системы, смесевые топлива, дистиллятные топлива

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Надежкин Андрей Вениаминович, докт. техн. наук, профессор МГУ им. адм. Г.И. Невельского
Соколова Ирина Васильевна, канд. техн. наук, старший научный сотрудник МГУ им. адм. Г.И. Невельского

Лыу Куанг Хьеу, канд. техн. наук, старший преподаватель Вьетнамский морской университет
Старченко Михаил Евгеньевич, аспирант МГУ им. адм. Г.И. Невельского

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, МГУ им. адм. Г.И. Невельского
484 Лак Чаи, Нго кием, ХайФонг, Вьетнам, Вьетнамский морской университет

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСОВ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»

М.Н. Покусаев, А.В. Трифонов

ANALYSIS OF METHODS OF INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF PUMPS OPERATING IN MARINE ENGINES' COOLING SYSTEM

Astrakhan State Technical University (ASTU) 16, Tatishcheva St., Astrakhan, 414056, Russia

Mikhail N. Pokusaev (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of ASTU)

Aleksei V. Trifonov (Graduate student of ASTU)

ABSTRACT: The aim of the article is to consider the direction of improving the characteristics of suspended circulation pumps for outboard water cooling systems using devices for power control, working with torque and speed changes.

Keywords: energy efficiency, cooling system, ship power unit, variable-frequency drive, marine pump

Целью статьи является рассмотрение направления улучшения характеристик навешенных циркуляционных насосов систем охлаждения забортной водой с использованием устройств для регулирования мощности, работающих с изменением крутящего момента и частоты вращения.

Важнейшим направлением развития современного двигателестроения является уменьшение расхода топлива. Значительную роль в разработке этого вопроса может сыграть система охлаждения, на привод навешенных насосов которой тратится значительная мощность.

Одним из критериев оценивающих энергетическую эффективность судового двигателя внутреннего сгорания (СДВС), является механический КПД. Механический КПД учитывает механические потери в двигателе, в том числе на привод вспомогательных механизмов.

Согласно опытным данным, механический КПД при работе на номинальной мощности находится в следующих пределах для СДВС: двухтактных малооборотных – 0,88-0,93; четырехтактных среднеоборотных – 0,89-0,91; четырехтактных высокооборотных – 0,8-0,85 [1].

В современных СДВС наиболее энергозатратными являются агрегаты системы охлаждения. В судостроении существует тенденция применения замкнутых систем охлаждения (ЗСО) СДВС, в которых отсутствует контур забортной воды. В работе [2] отмечается, что ЗСО является более экономичной по сравнению с двухконтурной за счет применения забортных охладителей и отказа от насосов охлаждения забортной водой. Насосы системы охлаждения обычно имеют КПД в пределах 0,6-0,8, создают напор в диапазоне 0,2-0,3 МПа. Также отмечено, что мощность привода насоса находится в диапазоне 1-2% от мощности главного двигателя. При схеме с ЗСО существенно уменьшается потребление энергии в процессе эксплуатации судна, так как исключаются затраты на работу насосов охлаждения забортной водой [2].

Развивая данное направление можно рассмотреть другие варианты повышения механического КПД двигателя снижением мощности привода вспомогательных механизмов.

Управление приводом агрегатов системы охлаждения позволяет с одной стороны снизить механические потери на их привод, а с другой стороны даёт возможность гибкого управления тепловым состоянием СДВС. Управляемые приводы позволяют регулировать расход охлаждающей жидкости через теплообменные аппараты.

Результаты исследования. Регулировка расхода охлаждающей жидкости возможна несколькими способами:

- регулировка подачи изменением наклона лопаток насоса механизмом поворота;
- регулировка подачи изменением профиля лопаток из материала с эффектом памяти формы, деформирующихся пропорционально изменению температуры перекачиваемой воды;
- установка в привод управляемой муфты скольжения.

Регулировка подачи изменением профиля лопаток насоса механизмом поворота. Рабочее колесо такого насоса имеет прямые подвижные консольно закреплённые лопатки, которые могут поворачиваться, изменяя угол наклона к диску колеса от 0° до 90°. С изменением угла наклона меняется подача перекачиваемой жидкости.

Для определения зависимости подачи от угла поворота был использован программный продукт SolidWorks Flow Simulation. Модель насоса показана на рисунке 1.

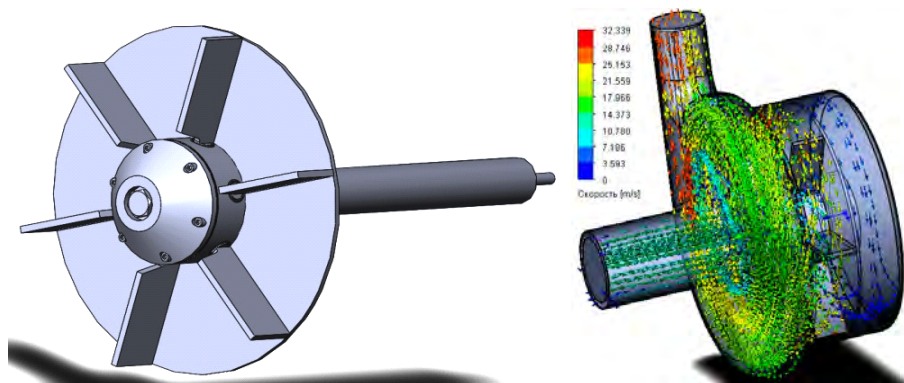


Рисунок 1 – Модель насоса с поворотными лопатками для испытаний в SolidWorks Flow Simulation

Поворот лопаток осуществляется с помощью механизма поворота. Механизм поворота лопаток размещён непосредственно в ступице рабочего колеса и преобразующей движение, полученное от сервомотора механизма изменения шага, в поворот лопасти.

Гидравлический привод механизма поворота лопаток рабочего колеса, состоит из гидравлической и электрической системы, а также механизма обратной связи. Механизм обратной связи предназначен для контроля угла установки лопаток в зависимости от температуры пресной воды на выходе из двигателя.

Установленный в контур забортной воды такой насос автоматически изменяет подачу теплоносителя и регулирует тепловое состояние двигателя. При меньших значениях подачи привод насоса потребляет меньше мощности и снижает расход топлива двигателем.

Регулировка подачи изменением профиля лопаток насоса из материала с эффектом памяти формы. Эффект памяти формы (ЭПФ) материала – явление возврата к первоначальной форме при нагреве или охлаждении [3].

Применение материалов с ЭПФ для лопаток насосов позволит автоматически регулировать подачу заборной воды. На рисунке 2 показано такое рабочее колесо насоса с лопатками из материала с двунаправленным ЭПФ. Рабочее колесо включает в себя лопатки 1 с двунаправленным ЭПФ, ступицу 2 и диск 3, в котором лопатки закрепляются. Лопатки крепятся к ступице (или к диску рабочего колеса) с помощью замков, что позволяет заменять отдельные лопатки в случае их повреждения.

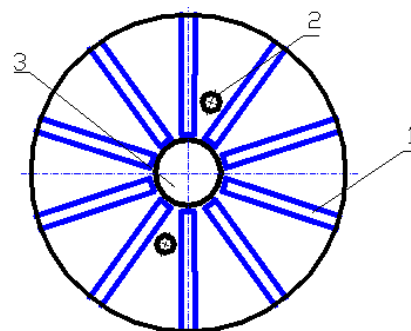


Рисунок 2 – Рабочее колесо с лопатками из материалов с ЭПФ

На рисунке 3, показано состояние лопаток из материала с двунаправленным ЭПФ в различных температурах заборной воды. При увеличении температуры заборной воды от 0 °С до 32 °С, лопатки постепенно распрямляются. При температуре 32 °С (рисунок 4а), лопатки обеспечивают максимальную подачу.

С уменьшением температуры заборной воды от 32 °С до 0 °С лопатки постепенно деформируются. При 0 °С (рисунок 4б), лопатки сгибаются, обеспечивая наименьший угол α и наименьшую подачу. Форма лопаток насоса изменяется в соответствии с изменением температуры заборной воды, обеспечивая оптимальную подачу воды для охлаждения. Для работы ЭПФ материала в указанном диапазоне температур необходимо провести соответствующую термообработку деталей.

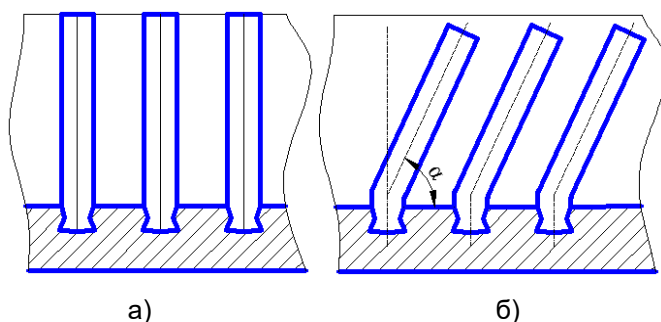


Рисунок 3 – Состояние лопаток рабочего колеса из материала с двунаправленным ЭПФ при температурах: а)-32 °С; б)-0 °С

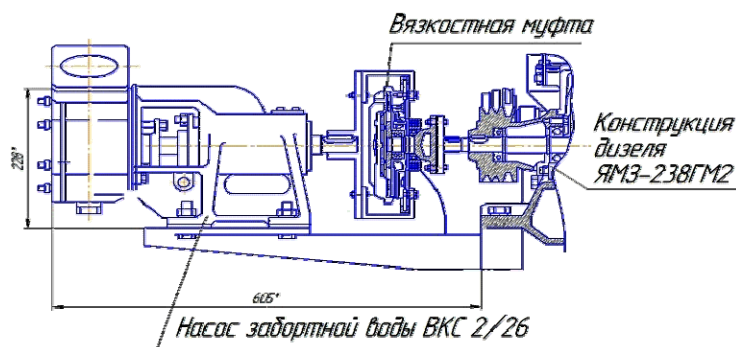


Рисунок 4 – Вариант установки вязкостной муфты для насоса двигателя ЯМЗ-238ГМ2

Применение таких рабочих колёс в системе охлаждения, даёт возможность повысить механический КПД двигателя и снизить расход топлива. Такой эффект достигается за счёт снижения момента сопротивления на валу, когда лопатки наклоняются к диску (при одной и той же частоте привода насоса). При уменьшении температуры перекачиваемой воды привод насоса потребляет меньшую мощность.

Регулировка подачи изменением частоты вращения насоса муфтой скольжения. Существуют различные типы муфт обладающих свойством скольжения – индукционная, гидравлическая, вязкостная. Они обеспечивают плавное изменение частоты вращения приводных устройств.

Индукционные муфты скольжения (ИМС) применяются в приводах металлообрабатывающих станков и предназначены для бесступенчатого регулирования частоты вращения рабочего органа. При плавном изменении тока в обмотке возбуждения

изменяется величина момента, передаваемого со стороны входного вала. У привода с ИМС суммарная потребляемая мощность в 2 раза превышает полезную. Недостатком привода с ИМС является повышенный нагрев муфты, ограничивающий их широкое применение [4].

По совокупности свойств (простота, дешевизна, надёжность, габариты, диапазон передаваемой мощности, потребляемая мощность) для привода насосов системы охлаждения СДВС больше всего подходят вязкостные муфты.

Далее проиллюстрируем установку такой муфты для насоса заборной воды ВКС2/26 двигателя ЯМ238ГМ2.

Вязкостная муфта располагается между насосом и шкивом двигателя. В соответствии с рисунком 4 подобранную по частоте вращения и мощности вязкостную муфту предлагаем установить в привод насоса. При этом нужно изготовить две полумуфты для соединения с вязкостной муфтой, а также изготовить кронштейн для крепления насоса к двигателю большей длины. Датчик температуры устанавливаем в контур пресной воды и подключаем к электронно-управляющему блоку, необходимая скорость включения рассчитывается специально откалиброванным программным модулем в электронно-управляющем блоке. Блок управления получает сигналы от датчика температуры охлаждающей жидкости. На основании полученных сигналов блок управления регулирует частоту вращения насоса. Для работы вязкостной муфты требуется питание постоянным током напряжением 24 В. Если блок управления не направляет сигнал на электромагнитный клапан, то он остаётся полностью открытым и муфта полностью включена, то есть, ведомая группа деталей (рабочее колесо) вращается с частотой вращения коленчатого вала. Если в цепи электромагнитного клапана возникает обрыв, то, с целью защиты двигателя, происходит полное включение муфты, и она начинает работать без проскальзывания.

При этом модернизированный насос будет работать таким образом, что потребляемая им мощность будет уменьшаться при работе судна в холодной воде. Датчик температуры должен устанавливаться в контур пресной воды и подключаться к электронно-управляющему блоку, в котором рассчитывается необходимая скорость включения.

Вязкостная муфта будет управляться в зависимости от температуры пресной воды, которая зависит от температуры забортной воды. Наибольшая экономия достигается, когда суда с таким двигателем будут работать в холодные периоды. В таких условиях температура забортной воды значительно ниже расчётной и насос системы охлаждения может работать с меньшей частотой вращения, и, следовательно, с меньшей подачей. Таким образом, уменьшается расход топлива двигателя.

Выводы. Рассмотрены различные способы повышения механического КПД СДВС за счёт снижения мощности на привод навешенных насосов забортной воды.

Предлагаемые схемы по сравнению с традиционным регулированием термостатными клапанами обладает следующим преимуществом: при регулировании снижается потребляемая насосом мощность.

Наиболее перспективным способом регулирования видится установка в привод насоса муфты скольжения. Муфта позволит регулировать передаваемую от двигателя мощность с изменением крутящего момента и частоты вращения, в зависимости от температуры двигателя.

Реализация предлагаемой концепции позволит повысить экономические показатели СДВС. Подобная модернизация потенциально применима на многих моделях СДВС с навешенными насосами забортной воды.

Для обеспечения нормальной работы насоса следует анализировать прогнозируемые режимы работы на пониженных частотах вращения, оговаривая в технологических требованиях к системе управления необходимость удержания рабочей точки в определённом диапазоне, при возможных изменениях частоты вращения. Поэтому перспективы дальнейших исследований в направлении повышения эффективности работы судовых энергетических установок заключаются в реализации модели судового насоса системы охлаждения, которая позволит получать необходимые экспериментальные данные о работе предлагаемой системы автоматического регулирования теплового состояния СДВС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Безюков, О.К. Охлаждение транспортных двигателей внутреннего сгорания: монография / О.К. Безюков. - СПб: Изд-во Гос. ун-в. мор. и реч. флота им. адм. С.О. Макарова, 2015. -272 с.
- 2 Шурпак, В.К. Учет особенностей систем охлаждения при оценке энергетической эффективности судов / В.К. Шурпак // -Науч.-техн. сб. Рос. мор. регистра судоходства. -2014. -Вып. 37. -С. 51-55.
- 3 Бледнова, Ж.М. Роль сплавов с эффектом памяти формы в современном машиностроении: науч.-обс. курс / Ж.М. Бледнова, М.А. Степаненко. - Краснодар: Кубанский гос. техн. ун-в., 2012. -69 с.
- 4 Розман, Я.Б. Устройство, наладка и экс-

REFERENCES

- 1 Bezyukov O.K. Cooling of internal combustion engines [Okhlazhdenie transportnykh dvigatelei vnutrennego sgoraniya]. St. Petersburg. Adm. Makarov St. Univ. of Maritime and Inland Shipping Publ. 2015. 272 p.
- 2 Shurpyak V.K. Considering the features of cooling systems in evaluating the energy efficiency of ships [Uchet osobennostei sistem okhlazhdeniya pri otsenke energeticheskoi effektivnosti sudov]. Proceedings of Russian Maritime Register of Shipping [Nauchno-technicheskiy sbornik Rossiiskogo morskogo registra sudokhodstva]. 2014. No. 37. pp. 51-55.
- 3 Blednova Zh.M., Stepanenko M.A. The role of alloys with shape memory effect in modern engineering [Rol' spлавov s effektivno pam'yati formy v sovremennom mashinostroenii]. Krasnodar: Kuban St. Technological Univ. Publ., 2012. 69 p.
- 4 Rozman Ya.B, Breiter B.Z. The structure, adjustment and operation

плуатация электроприводов металлорежущих станков / Я.Б. Розман, Б.З. Брейтер. -М.: Машиностроение, 1985. -208 с.

of electric drives of metal cutting machines [Ustroistvo, naladka i ekspluatatsiya elektropriwodov metallovezhushchikh stankov]. Moscow. Mashinostroyeniye Publ. 1985. 208 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергетическая эффективность, система охлаждения, судовая энергетическая установка, частотно-регулируемый привод, судовой насос

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Покусеев Михаил Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «АГТУ»
Трифонов Алексей Викторович, аспирант ФГБОУ ВО «АГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 414056, г.Астрахань, ул.Татищева, 16, ФГБОУ ВО «АГТУ»

ШУМ ТРЕНИЯ В ОПОРАХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.Н. Спиридонова

FRICTION NOISE IN DIESEL GENERATOR SUPPORTS

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Anna N. Spiridonova (Graduate student of SSUWT)

ABSTRACT: The article deals with the problems of noise in friction pairs, depending on the speed of sliding and the pressure between surfaces. A technique is proposed for measuring the noise of flat surfaces arising in contact operating in the dry and boundary friction mode in a suspension of a ship engine.

Keywords: noise, friction, sliding

Рассмотрены вопросы шума в парах трения в зависимости от скорости скольжения и давления между поверхностями. Предложена методика измерения шума возникающего в контакте плоских поверхностей, работающих в режиме сухого и граничного трения в подвеске судового двигателя.

Задача исследования шума в кинематических парах трения возникла в связи с предложенным в работе [1] техническим решением в судовой виброизоляции. Традиционная защита корпуса судна основана на вязкоупругой связи между источником вибрации и защищаемым основанием. Предлагаемая система не содержит упругих элементов и компенсирует силу веса защищаемого оборудования постоянной силой сухого трения. Системы постоянного усилия появились в связи с защитой от ударов [2] и к настоящему времени широко известны как виброизоляторы нулевой жесткости. Поскольку трение в парах может быть источником фоновых шумов, необходимо исследовать его значение на фоне структурной вибрации от рабочего процесса и шума механизма судовой электростанции. При скольжении фрикционных могут возникать нежелательные акустические явления, которые и являются предметом настоящего исследования.

Схема установки содержит основание с кареткой на подшипниках качения и механизмом протяжки с переменной скоростью от 3 до 20 мм/с (рисунок 1). На каретку устанавливаются образцы пластин из различных материалов (сталь, чугун, дюралюминий). Они являются одной из плоскостей скольжения. На эти пластины ставятся образцы, которые являются второй плоскостью. Они изготовлены из стали, чугуна и латуни. Нижняя поверхность шлифованная, с рисками вдоль направления скольжения. Торможение неподвижного образца возможно двумя способами: жестким упором или гибкой связью.

Силу трения можно измерить через деформацию консольной балки по индикатору часового типа. Для тарировки балки используются грузы известной массы. Измерение шума проводится в диапазоне судового шума от частоты 90 Гц до частоты 11 000 Гц, что соответствует октавным полосам 125-8000 Гц. Датчики ДН-3 подключены через предварительный усилитель к прибору ВШВ-003-М2.

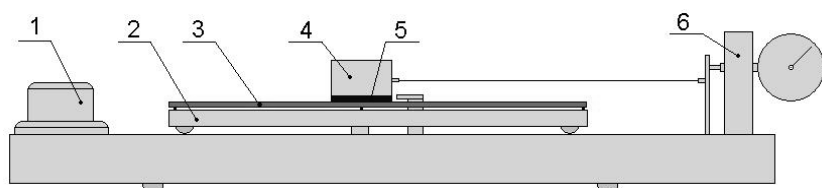


Рисунок 1 – Общий вид стенда для изучения шума трения: 1-двигатель; 2-каретка; 3-пластина; 4-груз; 5-образец; 6-измерительное устройство

Эксперимент предусматривал измерение звуковой эмиссии в зоне контакта при постоянной скорости скольжения трущихся пар. Давление в паре зависит от груза, установленно-го на пластине. Датчик прибора приклеен на поверхности груза. В ходе эксперимента проводилось измерение коэффициента трения, который существенно зависит от многих неучтённых факторов: влажности температуры, наличия окисных плёнок и т.п. Предполагалось, что отклонение коэффициента трения от среднего значения для данной пары на 10% является несущественным и гарантирует достоверность результата. Коэффициенты трения при различных сочетаниях пар представлены в таблице 1.

Другим фактором изменяющим результат было множество помех неизвестной величины идущих от привода каретки и шума подшипниковых роликов при качении по направляющим.

Рабочая гипотеза состояла в том, что сигнал от каждого из источника помех исследовался отдельно в своей полосе, а затем проводилось вычитание сигналов и последующий перевод в уровень в каждой полосе. Предполагалось, что отдельные измерения не меняют характер источника в базовом эксперименте или, что имеет место суперпозиция сигналов. Испытывалась пара сталь-сталь как наиболее распространенная в технике.

В результате экспериментов установлено, что температура и влажность в лабораторных условиях не вносят заметных погрешностей в измерения. Привод каретки с гистерезисным синхронным двигателем и шумом подшипниковых роликов суммарно даёт следующие значения уровней шума (таблица 2)

Таблица 1 – Коэффициенты трения

Пара трения	Сила прижатия, Н	Сила трения, Н	Коэффициент трения
Сталь-медь	48,85	8,45	0,17
Сталь-сталь	48,95	10,57	0,22
Сталь-сталь(0,4)	49,05	7,40	0,15

Таблица 2 – Шум трения пары сталь-сталь

Частота, Гц	Суммарный средний шум	Шум каретки и двигателя
125	0,175	0,200
250	0,350	0,435
500	0,500	0,500
1000	0,325	0,350
2000	0,250	0,225
4000	0,055	0,080
8000	0,018	0,030

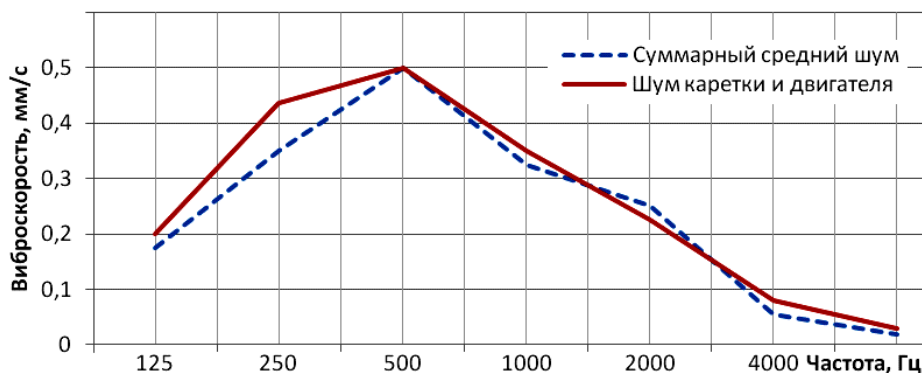


Рисунок 2 – Шум трения пары сталь-сталь

Таблица 3 – Чистый шум трения

Частота, Гц	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Виброскорость, мм/с	0,03	0,035	0,035	0,016	0,02	0,032	0,015

спектр акустических колебаний, генерируемых в паре трения, чрезвычайно разнообразен и труден для анализа. В первую очередь он представляет собой «смесь» собственных частот различных составных элементов системы и узла трения в целом. В нем присутствуют также частоты случайной и периодической природы, звукового и ультразвукового диапазонов, которые зависят от режима скольжения и давления в паре. Необходимо учитывать сочетание упругих волн, излучаемых множеством отдельных пятен фактического контакта, возникаю-

Парадокс заключается в том, что трение снижает шум, проходящий от двигателя и направляющих роликов практически во всем диапазоне частот.

Измерения показали, что шум чистого трения составляет малую долю от общего шума в эксперименте. Можно предположить, что шум трения маскируется общей акустической эмиссией электродвигателя и направляющих роликов.

Известно, что

щих при перемещении сопряженных поверхностей. При этом генерация этих волн может сопровождаться модуляцией, а их распространение – интерференцией [3]. Помехой в измерениях звуковой эмиссии была неравномерная сила трения связанная с дефектами на поверхности трущихся пар. Для исключения помех выбирался режим, при котором показания стабилизируются внутри бездефектных зон в парах трения.

В результате можно сделать вывод, что шум, возникающий в трущихся поверхностях судовых виброзащитных подвесок дизельных генераторов, является малым и не снижает качества структурной шумоизоляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Барановский, А.М. Передача вибраций силой сухого трения / А.М. Барановский, А.А. Зуев // Динамика судовых энергетических установок: сб. науч. тр. –Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2001. –С. 47-51.

2 Зуев А.К. Применение систем постоянного усилия / А.К. Зуев // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2011. -№2. -С. 170-175.

3 Добрынин, С.А. Частотно-временной анализ акустических сигналов звукового диапазона, генерируемых при трении стали Гадфильда / С.А. Добрынин, Е.А. Колубаев, А.Ю. Смолин, А.И. Дмитриев, С.Г. Псахье // -Письма в ЖТФ. -2010. -Т.36, -Вып. 13. -С. 47-53.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

шум, трение, скольжение

Спиридонова Анна Николаевна, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

REFERENCES

1 Baranovskii A.M. Zuev A.K. Transmission of vibrations by the dry friction [Peredacha vibratsii siloi sukhogo treniya]. Dynamic performance of ship power plants: collection of scientific papers [Dinamika sudovykh energeticheskikh ustanovok]. -Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. Publ., 2001. pp. 47-51.

2 Zuev A.K. Application of constant hanger support [Primenenie sistem postoyannogo usiliya]. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2011. No. 2. pp. 170-175.

3 Dobrynin S.A., Kolubaev E.A., Smolin A.Yu., Dmitriev A.I., Psakh'e S.G. Time-frequency analysis of acoustic signals of the audio range generated during the friction of Hadfield steel [Chastotno-vremennoi analiz akusticheskikh signalov zvukovogo diapazona, generiruemykh pri trenii stali Gadfil'da]. Technical Physics Letters [Pis'ma v ZhTF]. 2010. Vol. 36. No. 13. pp. 47-53.

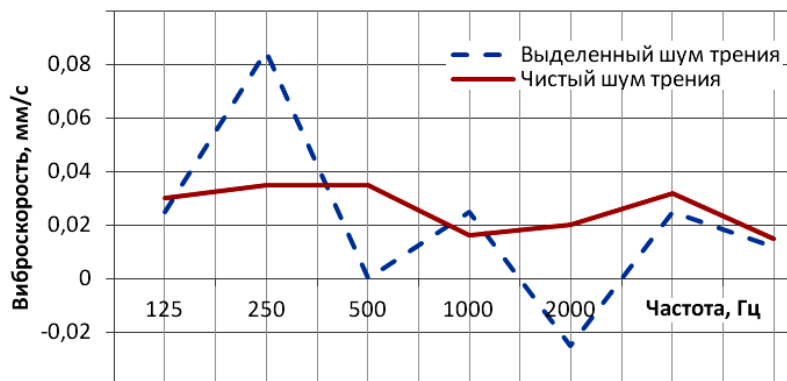


Рисунок 3 – Сравнение выделенного шума с чистым шумом

КОМПЕНСАТОР ВЕСА В ПОДВЕСКЕ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.Н. Спиридонова

WEIGHT COMPENSATOR IN MARINE ENGINE MOUNTING

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia
Anna N. Spiridonova (Graduate student of SSUWT)

ABSTRACT: The article discusses the design principles of weight compensator based on kinetic friction independence of the sliding velocity. Suspension of marine diesel engine does not contain elastic and viscous elements, which transmit the vibration to the base frame. To stabilize the position of the diesel, a proportional-integral controller is used.

Keywords: noise, friction, sliding

Обсуждаются предпосылки проектирования компенсатора веса на основе силы сухого трения, не зависящего от скорости скольжения. Подвеска судового дизеля не содержит упругих и вязких элементов, которые передают вибрацию на основание. Для стабилизации положения дизеля использован пропорционально-интегральный регулятор.

Традиционные подвески судовых двигателей на основе упругих элементов являются вязкоупругой системой с выраженными резонансами, как правило, в диапазоне судовой вибрации. Большинство стандартных виброизоляторов, получивших распространение на судах, вызывают резонансные колебания при испытании на массивном фундаменте в пределах от 5 до 23 Гц. В судовых условиях жёсткость конструкции фундамента в машинном

отделении существенно ниже, что сдвигает диапазон собственных частот до 8-32 Гц.

При конструировании подвесок приходится назначать режимы эксплуатации за пределами резонансов, что возможно только для быстроходных двигателей. Структурный шум, передаваемый через стандартные опоры практически невозможно устранить, поскольку корпус судна как добротная оболочка является волноводом с низким затуханием.

Решение проблемы резонансов возможно в подвесках, не содержащих упругих элементов [1]. Поскольку силу тяжести необходимо компенсировать и при этом стабилизировать положение двигателя с большой точностью, необходимо специальное устройство, которое можно назвать компенсатором веса. Основные требования к такому устройству являются уникальными, поскольку необходимо конкурировать с традиционными вязкоупругими подвесками во всём диапазоне частот. Во-первых, компенсатор веса должен создавать усилие, не зависящее от положения двигателя, следовательно, его жёсткость должна быть равна нулю. Во-вторых, усилие компенсатора не должно зависеть от скорости колебаний двигателя, следовательно, его вязкость должна быть равна нулю.

Рассмотрим один из вариантов конструктивного выполнения элемента постоянного усилия на основе сухого трения плоских поверхностей. Компенсатор состоит из многодисковой фрикционной муфты, момент которой передаётся через двухосный шарнир на рычаг, связанный с подвеской судового двигателя трёхосным шарниром и отличающийся тем, что точка крепления на рычаге совершает одноосные колебания, направление которых составляет прямой угол с плоскостью рычага и осью вращения муфты.

Компенсатор веса на основе червячного редуктора содержит две многодисковые муфты с двух сторон для симметричной нагрузки на подшипники. Вылет рычага оптимизирован следующим образом:

- нагрузка на опору вычисляется как вес оборудования, делённый на количество опор;
- диаметр вала муфты принимается по выходному валу редуктора;
- наибольший момент на валу назначается по каталогу редукторов;
- плечо рычага определяется как отношение момента трения к нагрузке на опоре.

На основании этих данных проектируется трёхмерная модель рычага, и определяются его массовые характеристики с учётом присоединённых масс.

В основе модели рычага использовано поле скоростей плоского движения при вынужденных колебаниях под действием синфазных и синхронных силы и момента. Допустим, что колебания малые в сравнении с размерами модели, тогда можно найти такую точку, в которой поле скоростей от силы в сумме с полем скоростей от момента даёт ноль. Такая неподвижная точка, связанная с корпусом судна не передаёт на него вибрацию. Из общих уравнений динамики можно записать связь между размерами рычага и его массовыми характеристиками

$$\ell h = J/m ,$$

- где ℓ – расстояние от неподвижной точки до центра масс рычага;
 h – расстояние от центра масс до точки приложения силы;
 J – центральный момент инерции рычага;
 m – масса рычага.

При расчёте муфты компенсатора допустим, что элементарная сила трения пропорциональна давлению на поверхности, площади контакта и направлена против вектора скорости

$$d\vec{F} \approx p \frac{\vec{V}}{V} ds .$$

Интегрируя по всей площади контакта S можно получить силу трения между поверхностями. Наиболее интересен с практической стороны контакт двух дисков, дающий центральное поле и чистый момент сил трения

$$M = \int_S d\vec{F} r .$$

Для сплошного диска дифференциал момента равен

$$dM = 2\pi r^2 f p dr .$$

Момент трения сплошного диска

$$M = f p \frac{\pi D^3}{12} .$$

В центральной части диска скорость скольжения стремится к нулю, следовательно, поверхность трения должна иметь форму тонкого кольца. Момент трения в этом случае равен

$$M = f \pi \rho \frac{D_e^3 - D_i^3}{12},$$

где D_e – внешний диаметр диска;

D_i – внутренний диаметр диска.

В соответствии с правилами теоретической механики момент можно определить через силу и плечо. Выбирая параметры такой системы можно получить необходимую силу, которая компенсирует вес оборудования. Отметим, что с достаточной для нашей задачи точностью сухое трение не зависит от скорости скольжения. Если скорость компенсатора превышает виброскорость источника вибрации, на основание передаётся только постоянная сила.

Важным вопросом является выбор типа регулятора положения защищаемого оборудования относительно основания. Особенность уравнения динамики для компенсатора веса в том, что оно не содержит жёсткости и вязкости, что исключает появление резонанса и передачу вязкоупругих сил на основание. Первоначально предполагалось ввести регулирование по положению источника вибрации, но в этом случае эффективность была недостаточной, поскольку математическая модель совпадает с упругой системой гармонического осциллятора. Никаких преимуществ это управление не даёт. Далее было установлено, что наиболее подходит для использования на судне астатический регулятор с отрицательной обратной связью по третьему интегралу уравнения динамики известный как ПИ-регулятор.

Исследования проводились на математической модели (рисунк 1).

Исходные данные оптимизировались на основе норм виброскорости для электроагрегатов [2]. Недостаточная скорость компенсатора приводит к сцеплению дисков и потере виброизоляции. Большая скорость компенсатора ведёт к большой мощности привода. Коэффициент управляющего воздействия в обратной связи

выбирался в ходе численного эксперимента для получения достаточного быстродействия относительно частоты бортовой качки в условиях озёрного плавания. Масса источника вибрации принималась как для среднего судового электроагрегата при мощности до 50 кВт. Частота вынуждающей силы принималась из диапазона судового шума 1000 Гц. В процессе исследования обнаружилось положительное влияние весьма низкого вязкого трения. Трение приблизительно в 100 раз ниже внутреннего трения в металлах стабилизирует положение агрегата без снижения эффективности виброизоляции.

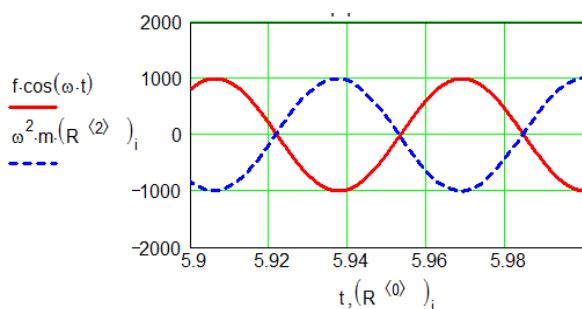


Рисунок 2 – Сравнение силы инерции и вынуждающей силы

```

k := 10          v := .02          f := 1000          m := 1000          omega := 100
G := 9.81 * m    F(q) := if(q2 < v, G, 0)    R(q) := -k * q1          b := 4

init_vals := { 0, 0, 0 }          init_t := 0          final_t := 6          Nsteps := 5000

D(t, q) := { q1, q2, f/m * cos(omega * t) - G + F(q) + R(q) - b * q2 }

R := rkfixed(init_vals, init_t, final_t, Nsteps, D)          i := 0..Nsteps
    
```

Рисунок 1 – Модель компенсатора веса

Эффективность системы определялась по разности силы инерции и вынуждающей силы. Идея метода основана на том, что движение источника вибрации зависит не только от вынуждающей силы, но и от реакции основания. Поскольку вынуждающая сила в модели известна, а реакция основания не определяется через нулевую жёсткость подвески, разность по отношению к вынуждающей силе покажет эффективность. На рисунке 2 показан график силы инерции и вынуждающей силы, из чего видно их равенство.

Выводы: Компенсатор веса на основе многодисковой фрикционной муфты с пропорционально-интегральным управлением позволяет изолировать корпус судна от вибрации электроагрегата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Зуев А.А. Проблемы виброизоляции /А.А. Зуев, А.К. Зуев, В.А. Четверкин // Проблемы виброизоляции на судах: сб. науч. тр. –Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. суд. акад. водн. трансп., 2003. –С.43-55.

2 Антошкин, А.С. Средства малой энергетики с поршневыми двигателями внутреннего сгорания /А.С. Антошкин, А.А. Балашов, Н.И. Валуйский, А.С. Лихачёв, Д.Д. Матиевский. –Барнаул: Изд-во Агентство рекламных технологий, 2008. –368 с.

1 Zuev A.A., Zuev A.K., Chetverkin V.A. Problems of vibration isolation [Problemy vibroizolyatsii]. Problems of vibration isolation in ships [Problemy vibroizolyatsii na sudakh]. Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad.of Water Transp. Publ., 2003. pp. 43-55.

2 Antoshkin A.S., Balashov A.A., Valuiskii N.I., Likhachev A.S., Matievskii D.D. Microgeneration installations with reciprocating internal combustion engines [Sredstva maloi energetiki s porshnevymi dvigatelyami vnutrennego sgoraniya]. –Barnaul: Agentstvo reklamnyh technologiy Publ., 2008. 368 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

шум, трение, скольжение

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Спиридонова Анна Николаевна, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

РЕГЕНЕРАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ НА СУДАХ В ЦЕЛЯХ УМЕНЬШЕНИЯ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

В.В. Тарасов

REGENERATION OF USED OIL ON SHIPS IN ORDER TO REDUCE HUMAN IMPACT ON THE ENVIRONMENT

Maritime State University named after admiral G.I.Nevelskoi (MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia

Valerii V. Tarasov (Prof. of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

ABSTRACT: The analysis of toxicity properties of used lubricants during their utilization is carried out. Authors consider the current state of operations with regeneration of used lubricants in Russian Federation and abroad. Taking this information into account they made a conclusion about the need of resuming the regeneration of used lubricating oils. The issue of oil regeneration is particularly acute to the transport and fishing fleet. It is worth mentioning that excessive pollution of the seas and oceans takes place as well as the port water areas and the most populated areas adjacent to the large ports and transport hubs.

Keywords: used motor oils, toxicity, used oils utilization

Проведен анализ токсикологических свойств отработанных смазочных материалов в процессе их утилизации. Рассмотрено состояние с регенерацией отработанных смазочных масел в Российской Федерации и за рубежом. На основании чего сделан вывод о необходимости возобновления регенерации отработанных смазочных масел. Особенно остро стоит вопрос с утилизацией отработанных смазочных материалов с судов транспортного и рыбодобывающего флота, так как происходит чрезмерное загрязнение морей и океанов, а так же припортовых акваторий и наиболее заселенных территорий прилегающих к крупным портам и транспортным узлам.

В последние годы в мире увеличился парк энергетических установок с использованием двигателей внутреннего сгорания для эксплуатации которых применяются не только традиционные сорта тяжелых топлив, но и альтернативные топлива: природный газ, биотоплива и другие. С применением таких топлив ужесточаются требования к свойствам смазочных материалов (СМ), которые насыщаются различными присадками, что приводит к удорожанию производства СМ. При этом прогнозируемая потребность в СМ на 2001 г. составила 4,9 млн. т, реально было произведено 2,2 млн. т [11]. Разницу планировалось ликвидировать за счёт импорта СМ или за счёт экономии СМ на различных этапах его использования. Одним из значимых путей экономии СМ на этапе их эксплуатации является повторное использование после соответствующей переработки. Рациональное и экономное применение нефтепродуктов и обострившиеся проблемы охраны окружающей среды ставят задачи по вторичному использованию отработанных продуктов нефтяной промышленности. Необходимость регенерации и возвращения в оборот отработанных смазочных материалов (ОСМ) весьма ярко иллюстрируют пример решения этой актуальной задачи.

Переработка (регенерация) ОСМ в промышленном масштабе в Российской Федерации прекратилась в 1992 г. Это объяснялось экономической целесообразностью. На экономику промышленной регенерации влияет выбор способа переработки ОСМ, качество исходного сырья, степень освоения и технико-экономические показатели процессов, размещение нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ), требования к охране окружающей среды. Все эти факторы влияют на эксплуатационные затраты производства регенерированного смазочного

масла (PCM); возрастает доля затрат на электрическую и тепловую энергию, катализаторы и реагенты; содержание и эксплуатацию оборудования; усложняются технологические схемы НПЗ; возрастают транспортные расходы. Вышеперечисленные факторы обуславливают увеличение энергетических, трудовых и материальных затрат. К тому же энергоёмкость производства в России на 30-40% выше, чем в Германии, Франции и Японии вместе взятых. Что касается объема производства СМ, то он в 1990 г. составлял 4,9 млн. т и снизился к 1998 г. до 1,9 млн. т (рисунок 1). При этом 80% потребности на 1998 г. в СМ удовлетворялось за счёт поставок зарубежной продукции. В 1998 г. безвозвратные потери при производстве СМ составляли 1,76%. Доля использования вторичных ресурсов в производстве СМ составляла не более 8,6% на 1992 г. [12]. В частности, сбор отработанных смазочных масел упал с 1,9 млн. т в 1990 г. до 0,05 млн. т в 1993 г. [12]. С 1994 г. по 1998 г. сбор ОСМ в промышленном масштабе не проводился. С 1998 г. появились официальные данные [13] об использовании ОСМ в качестве котельного топлива для получения тепловой энергии во всех промышленно развитых странах и в большинстве развивающихся стран. Из 10-12 млн. т СМ, ежегодно продаваемых в США, приблизительно половина теряется при эксплуатации. Однако, 40% из них, а это около 5 млн. т, собирается для последующей переработки. В странах ЕЭС ежегодно потребляется более 4,5 млн. т СМ, из которых 50% расходуется безвозвратно. Остаётся около 2,2 млн. т ОСМ [16]. Таким образом, примерно половина от общего производства масел может быть возвращена на утилизацию. Но это теоретически возможная величина. Она зависит в первую очередь от возможностей организовать сбор ОСМ. В действительности процент сбора масел в различных странах Западной Европы различен. В среднем он составляет лишь половину теоретически возможного. Передовыми в этом отношении являются Нидерланды и Германия, в которых регенерация составляет соответственно 45% и 30% от потребления. В Германии в материальном выражении эта величина составляет 360 тыс. т в год. Во Франции ежегодно регенерируется 230 тыс. т ОСМ, или 25% от потребления, в Великобритании 18%, в Бельгии около 12% [17]. В России ежегодно образуется свыше 4 млн. т отработанных смазочных материалов. Накопленные запасы ОСМ по данным Госкомэкологии [17] составляют свыше 400 млн. т. В Санкт-Петербурге ежегодно образуется около 50 тыс. т отработки. Накопленные запасы ОСМ составляют около 1 млн. т. Данные различных источников о количестве сбора и накопленных запасов ОСМ довольно противоречивы, что объясняется трудностями учёта из-за отсутствия централизованного сбора в большинстве стран, тем более в России. Тем не менее установлено [19], что общее количество нефтепродуктов, поступающее в Балтийское море, составляет от 21 до 66 тыс. т в год. Четырнадцать стран, полностью или частично располагающихся в пределах водосбора Балтики, являются потенциальными загрязнителями, из них Россия находится на первом месте по количеству и степени токсичности сбрасываемых отходов.

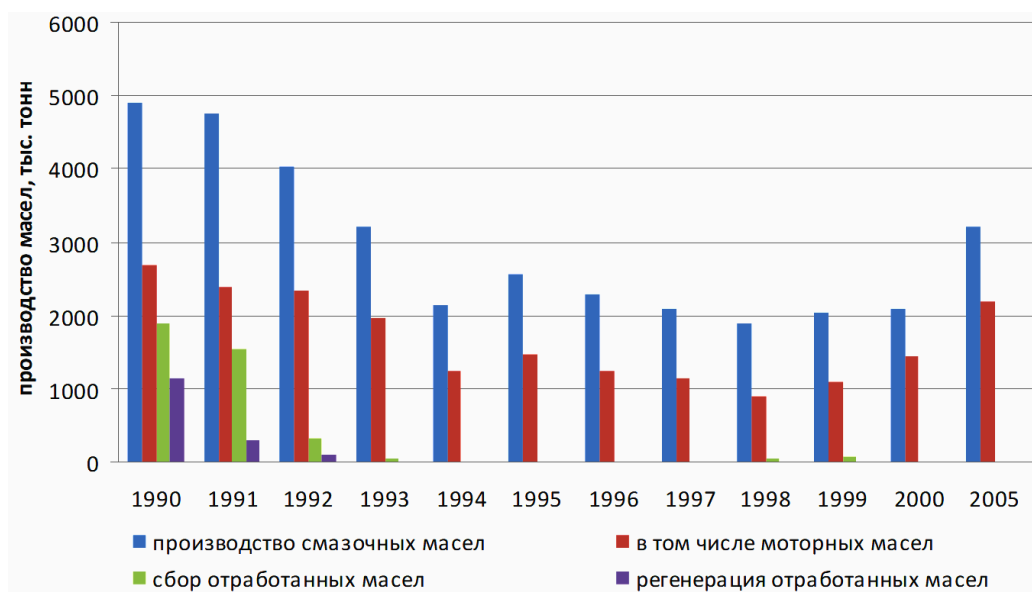


Рисунок 1 – Баланс производства и потребления смазочных масел в России.

В большинстве развитых стран сбор и регенерация ОСМ являются обязательными или поощряемыми государством. Для этого правительствами стран разработаны различные экономические стимулы, делающие сбор и регенерацию ОСМ выгодными [13, 18]. Государственные органы Российской Федерации (РФ) и стран Содружества независимых государств (СНГ) вопросами квалифицированной утилизации ОСМ перестали уделять внимание. Это привело к тому, что крупные потребители масел осуществляют утилизацию ОСМ, в лучшем случае, сжиганием. Мелкие потребители ограничиваются захоронением ОСМ на свалках, в канализации, или, в нарушение природоохранных норм, сливом их в укромных местах для организации мероприятий по утилизации ОСМ, поэтому в первую очередь необходимо создать экономические условия, активизирующие их переработку. Предприятия, занимающиеся вопросами утилизации, а тем более регенерации, должны иметь стимулы для своей деятельности, закрепленные законодательством как на федеральном уровне, так и на уровне региональных властей. На сегодняшний день данная проблема поднимается на федеральном уровне в Свердловской области, г. Москве, в Челябинской, в Брянской области и Приморском крае. Поскольку потребление СМ составляет всего около 1% от общего потребления нефтепродуктов, на первый взгляд вопрос их переработки с точки зрения экологии и экономики не заслуживает столь большого внимания. Однако, именно экологические интересы при регенерации и переработке ОСМ преследуются в первую очередь. Это связано с тем, что значительная часть ОСМ попадает в окружающую среду. Экологами установлено [15], что ОСМ составляют не менее 50% от общих загрязнений нефтепродуктами. Разработка и применение надлежащих методов утилизации и/или повторного использования ОСМ может оказать существенное влияние на снижение экологического давления на окружающую среду.

В бывшем СССР накоплен значительный опыт в вопросах разработки методов и средств регенерации, а также применения ОСМ для различных технологических нужд. В разное время проблемами регенерации ОСМ занимались такие учёные, как Черножуков Н.И., Шашкин П.И., Брай И.В., Нигородов В.В., Ставицкий Н.М., Чуршуков Е.С., Карпекина Т.П., Турчанинов В. Е., Топилин Г.Е., Лышко Г.П., Итинская Н.И., Григорьев М.А., Коваленко В.П., Рыбаков К.В., Фукс И.Г., Евдокимов А.Ю., Гущин В.А., Бутов Н.П., Остриков В.В. и другие учёные. Научно-исследовательскими учреждениями страны (ГАНГ, ГОСНИТИ, ВИМ, АЧИМСХ, ВНИПТИМЭСХ, ВИИТИН, ВНИИ НП) были разработаны, созданы и использовались в некоторых производствах технические средства и технологии по переработке ОСМ.

Необходимость приоритетного снабжения предприятий рыбодобывающего и рыбоперерабатывающего комплекса народного хозяйства топливом и смазочными материалами объясняется тем, что рыбохозяйственный комплекс – уникальный потребитель продуктов нефтехимии. Во-первых, потому, что отрасль производит предмет жизненно важной необходимости – продовольствие – рыбную продукцию и морепродукты в больших объемах и качественном ассортименте; во вторых, в силу биологического характера производства и большой зависимости от природных условий перебои в снабжении приводят к существенным потерям продукции и снижению её качества. Увеличение агрегатных мощностей двигателей на судах при одновременном повышении их рабочих температур, снижение расхода смазочных масел (СМ) и увеличение сроков его замены привели и к значительному росту жёсткости условий работы СМ. А если принять во внимание постоянное усложнение конструкции двигателей, трансмиссий, навесного оборудования технологических линий и насыщение их механизмами, работу при постоянной высокой влажности и периодически иногда низких или высоких температурах, сезонность и переменные нагрузки, то можно с уверенностью констатировать, что современные СМ должны удовлетворять самым жёстким требованиям, как со стороны производителей техники, так и со стороны эксплуатационников. Неотъемлемой частью эксплуатации современных машин и механизмов является рациональное использование нефтепродуктов, качество которых в значительной степени определяет надёжность работы техники, а также эксплуатационные расходы, трудоёмкость техобслуживания, долговечность её работы [1]. Отсутствие системы утилизации (регенерации) ОСМ в рыбопромышленном хозяйстве наносит наиболее ощутимый вред системе «биоэкология-продукты питания-человек».

Развитие хозяйственной деятельности человечества привело к загрязнению почвы, воды и атмосферы. Это выражается в резком ухудшении среды обитания всех живых организмов.

мов и, во многих случаях, необратимыми последствиями для них. По данным Госкомитета охраны окружающей среды размер допустимого воздействия человека на окружающую среду превышен в 8-10 раз [1]. На поддержание экологически необходимых и привычных условий жизни и работы человек тратит все больше энергии с все меньшим полезным эффектом по причине порчи механизма саморегуляции природы агрессивностью своего (антропогенного) воздействия. Таким образом, опасный круг для человека замкнулся дважды: первое по самоотравлению, второе по дефициту энергии с отравлением справиться. Таким образом требования экологии по иерархии возникших проблем приобретают приоритет среди прочих. Развитие техносферы связано с интенсификацией применения топлив, смазочных материалов и специальных жидкостей, получаемых из природного и синтетического сырья. Причем, если топлива загрязняют окружающую среду преимущественно в процессе эксплуатации двигателей внутреннего сгорания, смазочные же материалы загрязняют экосистемы еще и при утилизации отработанных смазочных масел. ОСМ представляют собой сложные и многокомпонентные смеси, поэтому зная состав ОСМ, можно оценить степень их воздействия на биосферу и определить пути утилизации.

Экологически опасными компонентами как свежих товарных, так и отработанных смазочных материалов являются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), изначально присутствующие в нефти, полигалогендифенилы, в основном полихлордифенилы (ПХД) антропогенного происхождения, серосодержащие и хлорсодержащие присадки, ряд биоцидов, органические соединения металлов (свинца, бария, сурьмы, цинка), нитриты [12]. Они распространяются в атмосфере, воде и почве, и участвуя в процессах обеспечения жизнедеятельности человека, появляются в продуктах питания. Кроме того, углеводороды нефтяных и синтетических масел, имея низкую степень биоразлагаемости (всего до 30%) и накапливаясь в окружающей среде, могут вызвать сдвиг экологического равновесия среды обитания, из-за мутации и усиленного размножения микроорганизмов, усваивающих нефтепродукты.

Атмосфера земли загрязняется в результате испарения и сжигания ОСМ. Токсичные компоненты (диоксид серы, органические соединения хлора и тяжелых металлов) с облаками разносятся по всей планете, что приводит к ее глобальному загрязнению. При сжигании синтетических продуктов загрязнение воздуха может быть существенно более опасным и менее предсказуемым. Сжигание ОСМ, содержащих ПХД, приводит к образованию более токсичных соединений – полихлордибензодиоксинов и полихлордibenзофуранов [7, 15]. До 60% которых попадает в биосферу путем сжигания. В США в 1989 г. диоксины и фураны обнаружены в воздухе, питьевой воде и придонных осадках [6]. Основными источниками токсиантов являются сжигаемые отходы производств и осадки сточных вод. Диоксины и фураны попадают в реки из атмосферы, которая загрязняется ими при сжигании топлив и ОСМ. В России подобные исследования не проводились.

Загрязнение биосферы ОСМ происходит путем просачивания в грунт и попадания в поверхностные и грунтовые воды при проливах и утечках [12]. При попадании отработанных масел в почву образуются так называемые масляные линзы. Характер распространения компонентов ОСМ из этих линз определяется структурой почвы и наличием грунтовых вод. В почву масла проникают под действием силы тяжести и поверхностно-активных явлений. В ней они частично подвергаются окислению и биоразложению под действием кислорода и микроорганизмов. Загрязнение почвы ОСМ зависит от характера надпочвенного слоя, гидрологических условий, а также от состава, плотности, вязкости, смачивающей способности ОСМ, от содержания и типа присадок в них. Скорость просачивания и бокового распространения нефтяных масел в почве составляет 10,2-10,5 мм/с [12]. На поверхности воды масла образуют разводы и пленки, которые эмульгируются, окисляются кислородом воздуха и частично биоразлагаются. При контакте с грунтовыми водами ряд компонентов масел растворяется и разносится с водой. Загрязнение грунтовой воды – один из основных источников загрязнения почвенных вод. Около 85% общего объема загрязнений приходится на «хронические» небольшие утечки и проливы, и лишь около 15% – на крупные катастрофы [6]. Известна возможность загрязнения приблизительно 7 млн. л воды всего 1 л отработанного нефтяного масла. Образующаяся при этом экологическая система состоит из трех компонентов: воды, масла и поверхностно-активных веществ. Последние либо присутствуют в масле, либо являются продуктами его фотоокисления. Попадая в окружающую среду, аро-

матические углеводороды (включая полициклические ПАУ) вредно влияют на жизнедеятельность водных растений, рыб и других биоресурсов. По сравнению с алифатическими углеводородами они лучше растворяются в воде и медленнее выводятся из накапливающих их организмов. Идентифицировано 38 соединений, ряд которых обладает канцерогенным и мутагенным воздействием. По содержанию ПАУ можно судить о масштабах загрязнения почвы продуктами техногенных процессов. В донных отложениях озер Великобритании присутствуют ароматические углеводороды антропогенного происхождения. Источниками загрязнения их нефтью и нефтепродуктами является речной и морской водный транспорт и неочищенные стоки наземных автодорожных и разных других предприятий [8].

Значительно распространены в биосфере хлорорганические соединения. Хлоропарафины обнаружены в почве, морях, донных осадках, тканях растений и животных [6]. В странах ЕЭС производство и применение ПДХ запрещено с 1978-1979 г. Несмотря на это, ПХД распространяются в биосфере в глобальном масштабе, что объясняется их высокой стабильностью, малой биоразлагаемостью и нелегальным применением [15]. Ежегодно в Северные моря попадает около 7 т ПХД и других углеводородов [6]. В Чехословакии ПХД обнаружены в детских песочницах; в Германии, Польше, США и ряде азиатских стран – в женском молоке [5]. Высокая концентрация ПХД отмечена в зонах, прилегающих к гаваням [2]. По прогнозам – к 2080 г. их концентрация в тихоокеанской воде возрастет до 0,5-0,7 мг/кг, а в теле морских животных до 0,5-0,8 мг/кг [2].

Для водной системы Балтийского бассейна приоритетными загрязняющими веществами являются: хлороформ, бензапирен, нефтепродукты, тяжелые металлы [4]. В устье реки Нева обнаружены наиболее опасные соединения – полихлорированные бифенилы (ПХБ), предельно допустимая концентрация (ПДК) которых составляет 1 мг/л. Однако в некоторых местах содержание ПХБ превосходит ПДК в десятки, а то и в сотни раз. По данным института Токсикологии Минздрава РФ содержание ПХБ в грудном молоке кормящих матерей составляет 21,5 мг/л. В странах Западной Европы этот показатель доходит до 320 мг/л, США – до 111,3 мг/л, Канаде – до 28,4 мг/л. Таким образом, для всех стран основной проблемой, требующей незамедлительного решения, является снижение уровня техногенного загрязнения.

В последнее время в ОСМ, особенно в отработанных моторных маслах (ОММ), появляются новые специфические загрязнения, связанные с изменением состава топлива и смазочных материалов, жизнедеятельностью микроорганизмов и др. [15]. Применение в ДВС альтернативных топлив приводит к появлению в моторных маслах (ММ) новых видов загрязнений. ОММ из двигателей, работавших на смеси метанола с бензином, содержат 0,025-0,425% метанола. При работе двигателя на чистом метаноле его содержание в маслах менялось от 0,227% до 7,7%. Рост содержания метанола в масле зависит в основном от типа двигателя. Работа ДВС на газовом топливе (природный газ, газ химводоочистки, переработка бытового и промышленного мусора) вызывает попадание в ММ оксидов азота, способствующих образованию органических нитратов и продуктов окисления. Присутствие в газах сероводорода до 0,2% и галогенуглеводородов до 0,09% вызывает появление в ОММ синильных кислот. Попадание в подсолнечное масло дизельного топлива приводит к загущению последнего за счет авто-окисления и полимеризации ненасыщенных триглицеридов растительного масла [15]. К выходу механизмов из строя приводит загрязнение работающих масел продуктами жизнедеятельности бактерий, особенно в районах с тропическим климатом. Биоразложение электроизоляционных масел ускоряется в присутствии воды и бумажных или хлопчатобумажных изоляционных материалов. Специфические условия эксплуатации ряда смазочных материалов приводят к попаданию в них радиоактивных загрязнений. Экологические последствия применения альтернативных топлив и смазочных материалов вообще не исследовались. Перечисленные факторы при использовании альтернативных топлив и смазочных масел существенно влияют на последующее рациональное использование ОСМ и выбор процесса их переработки.

Токсичность ОСМ определяется разложением масел при эксплуатации. Токсичные загрязнения, такие как свинцовые антидетонаторы, продукты неполного сгорания топлива в ММ, металлические примеси (продукты износа), разложившиеся присадки, бактерии, грибки возникают при окислении и термическом разложении. Токсичность нефтяных масел повышается с ростом их молекулярной массы и кислотного числа, с увеличением в их составе

доли аренов, смол, сернистых соединений. Соединения с разветвленной боковой цепью менее токсичны, чем углеводороды нормального строения. Циклические соединения обычно токсичнее, чем соединения с открытой цепью. Ненасыщенные соединения более токсичны, чем насыщенные. Опасность увеличивается с ростом растворимости масляных компонентов в жидкостях, что повышает возможность проникновения в организм [6]. Чрезвычайно опасными с точки зрения токсичности являются отработанные синтетические масла, особенно на основе полихлордифенилов. Например, сложные эфиры фосфорной кислоты обладают раздражающим и неврологическим действием. Отработанные масла в 15-30 раз токсичнее свежих масел. О токсичности некоторых масел было известно более 70 лет назад, однако только последние 15-20 лет этому вопросу уделяется пристальное внимание. Более 30 лет назад на это обстоятельство обращал внимание К.К. Папок [10]. Однако такие работы до сих пор ведутся в незначительном объеме [15]. Производство и применение масел на нефтяной и синтетической основе в ряде случаев приводит к возникновению ксенобиотиков – веществ полностью чуждых биосфере, зачастую обладающих высокой токсичностью, практически не участвующих в обменных процессах и, в следствии этого, накапливающихся в живых организмах. К ним в первую очередь относятся полихлордифенилы, полихлордифенилоксины и полихлордифенилофураны. Токсичность особенно характерна для масел с присадками, претерпевающих химические превращения в условиях эксплуатации. Нефтяные смазочные материалы являются также источником полициклических аренов и нитрозаминов, не ксенобиотиков, но также представляющих существенную опасность вследствие канцерогенности и негативного влияния на обменные процессы в живых организмах.

В плане экологических проблем за последние 4-5 лет усилилась канцерогенная активность некоторых работающих нефтяных масел по сравнению со свежими вследствие накопления биологически активных полициклических аренов (ПА), продуктов неполного сгорания топлива и термического разложения масла [15]. Потенциальными канцерогенами являются нитроамины, возникновение которых происходит при каталитическом воздействии ряда микробов и посторонних загрязнений на присадки к маслам [3]. Десятикратное увеличение соединений ПА характерно для работающих дизельных масел. Стократное и более увеличение соединений ПА наблюдается в маслах бензиновых двигателей благодаря попаданию в них продуктов неполного сгорания бензина. Таким образом, канцерогенность ОСМ связана с присутствием ПА, однако она не должна рассматриваться отдельно от других экологических свойств. В этой связи задача усложняется необходимостью исследования весьма малых количеств соединений очень сложной структуры.

Смазочные материалы, как товарные, так и отработанные, представляют существенную экологическую опасность, тем более в виде сложных многокомпонентных смесей образующихся при сборе масел в промышленных масштабах. [15]. К тому же источниками устойчивого загрязнения почвы, водоемов и атмосферы являются не только сами отработанные смазочные материалы в том числе и ОСМ, а также и отходы от их переработки, которые чаще всего не утилизируются и представляют собой еще большую опасность, чем сами ОСМ и отработанные смазочные материалы. Лишь незначительная часть из попадающих в окружающую среду вышеперечисленных продуктов обезвреживается естественным путем; окислением, фотохимическими реакциями, биоразложением (составляет всего 10-30%. Кроме того, при рассмотрении экологической опасности, связанной с ОСМ, следует учитывать производство и эксплуатацию, как смазочных материалов, так и присадок к ним, так как многие присадки обладают неблагоприятными свойствами (серо- и хлорсодержащие продукты, биоциды) [9].

ОСМ вызывают экологические и медицинские проблемы в плане личной гигиены при работе со свежими и отработанными смазочными маслами, где отсутствие средств защиты приводит к возникновению дерматитов, обезжириванию кожи, появлению трещин и, как следствие, занесению инфекции.

С точки зрения медицинской проблемы дерматологические и аллергические заболевания вызывают отработанные нефтяные масла в связи с усложнением их состава. Считается, что наибольшую опасность в ОСМ представляют галогенсодержащие соединения хлора (0,30-0,65%), способные вызывать раковые заболевания, расстройство иммунной системы, бесплодие. Хлорорганические соединения в ОСМ создают опасность для грунтовых вод, проникают в жировые ткани, где отлагаются и накапливаются благодаря своей незначитель-

ной биоразлагаемости. В образцах свежих, отработанных и регенерированных моторных масел, в загрязненной маслами почве обнаружены продукты разложения хлорсодержащих присадок в количестве до 7%, в том числе высокотоксичных полихлордибензодиоксинов и полихлордифенофуранов.

Основным источником катастрофического загрязнения ОСМ являются полихлордифенилы (ПХД) и их производные. Использование ПХД в качестве основы придает синтетическим маслам хорошие диэлектрические свойства, высокую термическую стабильность, огнестойкость. Запрещены они были в связи с отрицательными экологическими свойствами: высокой токсичностью, плохой биоразлагаемостью и возможностью накопления в организме. Однако ПХД в смесях ОСМ превышают 0,02%, что указывает на образование ПХД в самих СМ в процессе эксплуатации или переработки. При исследовании основных присадок (с содержанием хлора 0,002-35%) отмечено высокое содержание хлора у противоизносных присадок в редукторных и трансмиссионных маслах. В присадки хлор попадает в процессе производства при использовании катализаторов или из смесей в сырье (0,1-1,0%). Содержание хлора в свежих ММ составляет 0,092%. Вместе с тем нет доказательств образования ПХД в работающих ММ [15]. Содержание общего хлора (до 0,64%) в ОММ зависит от присутствия выносителей свинца в бензинах и от срока службы моторного масла. При термическом разложении и низкотемпературном сжигании ПХД образуют ещё более токсичные вещества: полихлордибензодиоксины, полихлордифенофураны и наиболее опасные 2,3,7,8-тетрахлордибензодиоксины. Присутствие диоксинов и фуранов в отработанных и регенерированных моторных маслах доказано рядом медицинских исследований. Исследование смесей ОСМ и полученных из них базовых масел вторичной переработки выявило содержание до 0,035% гекса-, гепта-, октаи-зомеров хлордибензодиоксинов и хлордифенофуранов. Не исключено, что хлорсодержащие соединения могут способствовать возникновению токсичных диоксинов и фуранов непосредственно в процессах вторичной переработки (например, при вакуумной перегонке ПХД концентрируются в низко-кипящих фракциях) [7]. В той же степени опасны аналогичные соединения других галогенов, например, полибромдифенилов (бром используется как выноситель свинца в этилированных бензинах).

Результаты экологических и эпидемиологических исследований трудны для интерпретации по причине различий в методах оценки степени воздействия экологически опасных компонентов ОСМ на биосферу. Экологические последствия и степень риска для здоровья людей при существующем уровне загрязнения окончательно не выяснены [14]. Факт глобального экологического кризиса свидетельствует о качественно новом уровне противодействия биосферы человеку [4]. Это проявляется прежде всего в действии на организм человека наиболее опасных компонентов смазочных материалов – полихлордифенилов (ПХД). ПХД при неполном сгорании, в основном бензина, образуют еще более токсичные производные фуранов и диоксинов, разрушающих иммунную систему людей и животных, вызывающих рак и нарушающих нормальную репродуктивную их способность (рисунок 2). У свежих масел селективной очистки и отработанных дизельных масел отсутствуют признаки токсичности и канцерогенности, а вот у неочищенных масляных дистиллятов, дистиллятных экстрактов и ОММ из бензиновых двигателей канцерогенность и токсичность существенная, причем у ММ бензиновых двигателей канцерогенность появляется после пробега свыше 5 тыс. км одновременно с образованием и накоплением ПА. На накопление ПА влияет тип двигателя и срок службы ММ. Зарубежные специалисты считают необходимым пересмотр срока службы ММ и ограничение его оптимальной продолжительности с точки зрения экологии. Научно обоснованные критерии срабатываемости свойств масел, смазок и специальных жидкостей к настоящему времени не разработаны. Существующие показатели далеко не всегда учитывают реальную работоспособность смазочного материала. Поэтому в ряде случаев придерживаются норм, рекомендованных специалистами по конструированию машин и оборудования. Эти нормы не учитывают реальную работоспособность и фактическое состояние смазочного материала. К качеству получаемых из ОСМ продуктов предъявляются достаточно высокие требования, а это предполагает применение более эффективных и информативных методов анализа не только показателей качества, но и экологических показателей. При оценке экологической опасности необходим в первую очередь анализ новых специфических загрязнений в ОСМ, содержания в них ПА, органических соединений галогенов, и в первую очередь ПХД. Ранее при оценке канцерогенной активности ОСМ использо-

вали животных. При высокой надёжности данный метод является весьма длительным (до 3 лет) и дорогостоящим (свыше 15 тыс. долларов за один образец нефтепродукта) [15]. В последнее время при оценке канцерогенной опасности путем определения содержания ПА в маслах используют жидкостную хроматографию [3].

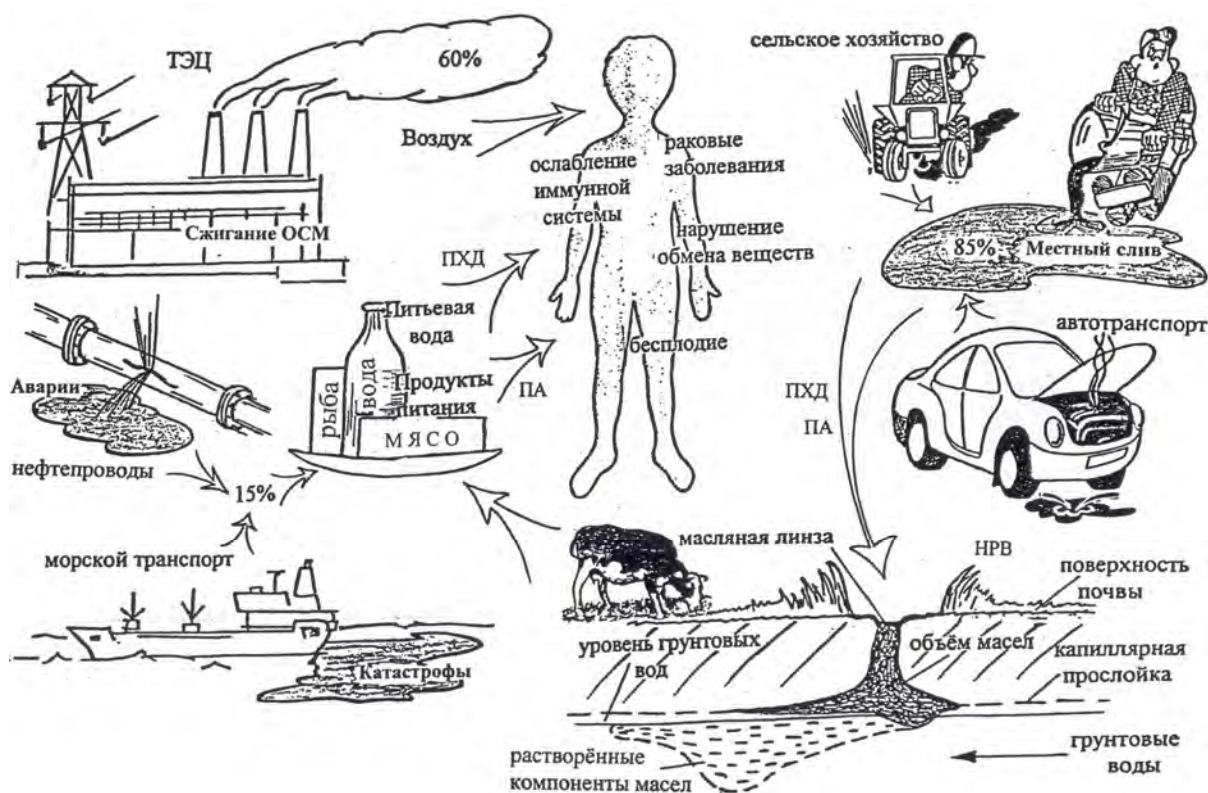


Рисунок 2 – Экологические проблемы загрязнения окружающей среды отработанными маслами

Отработанные масла по своим действительным характеристикам гораздо более опасны для окружающей среды, чем это принято считать. К тому же на сегодняшний день количество экспериментальных исследований по оценке токсичности и канцерогенности ОСМ крайне мало, что не позволяет в полной мере определять уровень связанной с ними опасности, поэтому просто их захоронять или сжигать при утилизации становится невозможным. Они требуют специальной обработки на обезвреживание. Такая обработка хорошо встраивается в технологию регенерации, совмещая полезное с необходимым. Регенерация смазочных масел, выполненная с учётом экологических требований, становится по праву одним из лучших способов их утилизации. Обеспечивая прирост местных ресурсов производства масел, она предохраняет окружающую среду от загрязнения [2, 3, 6, 15]. Таким образом, проблему использования смазочных материалов следует рассматривать не только как техническую и экономическую, но в значительной степени как экологическую, где одним из эффективнейших способов предотвращения загрязнений окружающей среды есть максимальное вовлечение ОСМ в переработку. Вместе с тем переработка отработанных масел во всем мире не превышает 5% от потребления.

Так как экологическая проблема утилизации ОСМ стоит остро, во многих развитых странах приняты меры по предотвращению загрязнений: организовывается квалифицированный сбор ОСМ, разрабатываются эффективные способы удаления из них экологически опасных соединений, осуществляется очистка почвы и вод. Достигнутые результаты локальны, поскольку предпринимаемые меры устраняют следствие, а не причину – источник загрязнения.

Из приведенного анализа следует, что ОСМ нельзя сжигать и сливать в землю; ОММ бензиновых двигателей более токсичны, чем дизельных; ОСМ на синтетической основе более токсичны, чем на минеральной; присадки в маслах (особенно хлорсодержащие в трансмиссионных и редукторных) усиливают токсичность ОСМ; попадание топлива в смазочные масла двигателей увеличивает токсичность ОММ; увеличение срока службы ММ усиливает

канцерогенность ОММ; при промышленном сборе ОСМ многокомпонентные смеси более опасны, чем ОММ, в том числе вероятностью радиационного и биологического заражения; при вторичной переработке (глубокой вакуумной перегонке) образуются более токсичные компоненты, чем при регенерации; отходы вторичной переработки более опасны, чем ОСМ.

С экологической точки зрения вопросы дифференцированной регенерации ОСМ на речном и морском водном транспорте не изучались. Не рассматривались вопросы преимущества регенерации перед другими способами утилизации ОСМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- 1 Азаркин, Н.Н. Отработанным нефтепродуктам – вторую жизнь / Н.Н. Азаркин // -Механизация и электрификация сельского хозяйства -1987. -№12. -С. 64.
- 2 Большая энциклопедия транспорта. В 8 т. Том 1: Общие вопросы / Гл. ред. В. П. Калявин. –СПб.: Восточный банк коммерческой информации, 1994. -395 с.
- 3 Вронский, В.А. Прикладная экология: учеб. пособ / В.А. Вронский. -Ростов на Дону: Изд-во Феникс, 1996. -512 с.
- 4 Данилов-Данильян, В.И. Окружающая среда между прошлым и будущим: мир и Россия/ В.И. Данилов-Данильян, В.Г. Горшков, Ю.М. Арский. -М.: Изд-во Всерос. инст. науч. и техн. инф., 1994. -133 с.
- 5 Дерягин, Б.В. О природе маслянистости смазочных средств и методах ее количественной оценки / Б.В. Дерягин, В.П. Лазарев // Всесоюзная конференция по трению и износу в машинах. -М.: Изд-во АН СССР, 1939. -Т.1. -С. 519-535.
- 6 Евдокимов, А.Ю. Отработанные смазочные материалы и вопросы экологии / А.Ю. Евдокимов, В.Л. Лашхи, А.А. Джамалов // -Химия и технология топлив и масел. -1992. -№11. -С. 26-30.
- 7 Евдокимов, А.Ю. Экологические аспекты использования отработанных смазочных материалов / А.Ю. Евдокимов, И.Г. Фукс, Н.Г. Загородный // -Химия и технология топлив и масел. -1990. -№11. -С. 3-10.
- 8 Луканин, В.Н. Промышленно-транспортная экология: учебн. для ВУЗов // В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. Под ред. В.Н. Луканина. -М.: Высш. шк., 2001. -273 с.
- 9 Павлов, А.Г. Новые требования к моторным маслам за рубежом/ А.Г. Павлов, В.Д. Резников. // -Химия и технология топлив и масел. -1994. -№7. -С. 33-37.
- 10 Папок, К.К. Ядовитость топлив, масел и технических жидкостей / К.К. Папок, И.Г. Барон. -М.: Изд-во Мин. Обороны СССР, 1960. -79 с.
- 11 Соболев, Б.А. Производство смазочных материалов в России: факт и прогноз / Б.А. Соболев // -Мир нефтепродуктов. -1999. -№1. -С. 9 -11.
- 12 Соболев, Б.А. Производство смазочных масел предприятиями России / Б.А. Соболев // -Мир нефтепродуктов. -2000. -№2. -С. 1-2.
- 13 Сурин, С.А. Отработанные масла: вторая жизнь / С.А. Сурин // -Мир нефтепродуктов. -2000. -№2. -С. 22-24.
- 14 Стадницкий, Г.В. Экология / Г.В. Стадницкий, А.И. Родионов. -М.: Высшая школа. 1988. -272 с.
- 15 Фукс, И.Г. Экологические проблемы рационального использования смазочных материалов / И.Г. Фукс, А.Ю. Евдокимов, В.Л. Лашхи, Ш.М. Самойхмедов. -М.: Изд-во Нефть и газ, 1993. -352 с.
- 16 Шеннон, И. Смазочные материалы: снижение вредного воздействия на окружающую среду / И. Шеннон, Р. Шей // -Мир нефтепродуктов. -2000. -№3. -С. 30-33.
- 17 Юзефович, В.И. Организация сбора отработанных масел / В.И. Юзефович // -Мир нефтепродуктов. -2001. -№3. -С. 28-30.

- 1 Azarkin N.N. Giving second life to waste oil products [Otrabotannym nefteproduktam – vtoruyu zhizn']. Mechanization and electrification of agriculture [Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva]. 1987. No. 12. pp. 64.
- 2 Big encyclopedia of transport [Bol'shaya entsiklopediya transporta]. Vol. 1. St. Petersburg. Vostochnyi bank kommercheskoi informatsii Publ. 1998. 395 p.
- 3 Vronskii V.A. Applied ecology [Prikladnaya ekologiya]. Rostov na Donu: Izd-vo Feniks Publ. 1996. 512 p.
- 4 Danilov-Danil'yan V.I., Gorshkov V.G., Arskii Yu.M. Environment between the past and the future: the world and Russia [Okruzhayushchaya sreda mezhdu proshlym i budushchim: mir i Rossiya]. Moscow. Vserossiiskii institut nauchnoi i tekhnicheskoi informatsii Publ. 1994. 133 p.
- 5 Deryagin B.V., Lazarev V.P. On the nature of lubricity of lubricants and methods for its quantification [O prirode maslyanistosti smazochnykh sredstv i metodakh ee kolichestvennoi otsenki]. Friction and wear [Vsesoyuznaya konferentsiya po treniyu i iznosu v mashinakh]. Moscow. Acad. Science USSR. 1939. Vol. 1. pp. 519-535.
- 6 Evdokimov A.Yu., Lashkhi V.L., Dzhamalov A.A. Waste lubricants and ecology issues [Otrabotannye smazochnye materialy i voprosy ekologii] // Chemistry and technology of Fuels and Oils [Khimiya i tekhnologiya topliv i masel]. 1992. No. 11. pp.26-30.
- 7 Evdokimov A.Yu., Fuks I.G., Zagorodnyi N.G. Environmental aspects of the use of waste lubricants [Ekologicheskie aspekty ispol'zovaniya otrabotannykh smazochnykh materialov]. Chemistry and technology of Fuels and Oils [Khimiya i tekhnologiya topliv i masel]. 1990. No. 11. pp. 3-10.
- 8 Lukanin V.N., Trofimenko Yu.V. Transportation and industrial ecology [Promyshlennno-transportnaya ekologiya]. Moscow. Vysshaya shkola Publ. 2001. 273 p.
- 9 Pavlov A.G., Reznikov V.D. New requirements for engine oils abroad [Novye trebovaniya k motornym maslam za rubezhom]. Chemistry and technology of Fuels and Oils [Khimiya i tekhnologiya topliv i masel]. 1994. No. 7. pp. 33-37.
- 10 Papok K.K., Baron I.G. The toxicity of fuels, oils and technical fluids [Yadovitos' topliv, masel i tekhnicheskikh zhidkostei]. Moscow: USSR Ministry of Defence Publishing. 1960. 79 p.
- 11 Sobolev B.A. Production of lubricants in Russia: actuality and forecast [Proizvodstvo smazochnykh materialov v Rossii: fakt i prognoz]. World of Oil Products [Mir nefteproduktov]. 1999. No. 1. pp. 9-11.
- 12 Sobolev B.A. Production of lubricants by Russian enterprises [Proizvodstvo smazochnykh masel predpriyatiyami Rossii]. World of Oil Products [Mir nefteproduktov]. 2000. No. 2. pp. 1-2.
- 13 Surin S.A. Lubricating oil wastes: the second life [Otrabotannye masla: vtoraya zhizn']. World of Oil Products [Mir nefteproduktov]. 2000. No. 2. pp. 22-24.
- 14 Stadnitskii G.V., Rodionov A.I. Ecology [Ekologiya]. Moscow. Vysshaya shkola Publ. 1988. 272 p.
- 15 Fuks I.G., Evdokimov A.Yu., Lashkhi V.L., Samoiikhmedov Sh.M. Environmental problems of rational use of lubricants [Ekologicheskie problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya smazochnykh materialov]. Moscow. Neft' i gaz Publ. 1993. 352 p.
- 16 Shennon I., Shei R. Lubricating oil: reduction of harmful impact on the environment [Smazochnye materialy: snizhenie vrednogo vozdeistviya na okruzhayushchuyu sredu]. World of Oil Products [Mir nefteproduktov]. 2000. No. 3. pp. 30-33.
- 17 Yuzefovich V.I. Collecting lubricating oil wastes procedure [Organizatsiya sbora otrabotannykh masel]. World of Oil Products [Mir nefteproduktov]. 2001. No. 3. pp. 28-30.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

использованные моторные масла, токсичность, утилизация отработанных масел
Тарасов Валерий Васильевич, профессор МГУ им. адм. Г.И. Невельского
690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, МГУ им. адм. Г.И. Невельского

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА НИЗКОСЕРНИСТЫХ МАЛОВЯЗКИХ ТОПЛИВАХ

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет»
ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет»

Г.Б. Горелик, В.В. Маницын, О.Н. Мозолев

PROVIDING MARINE DIESEL OPERATION ON LOW-SULPHUR LOW-VISCOSITY FUEL

Pacific National University (PNU) 136, Tihookeanskaya St., Khabarovsk, 680035, Russia

The Far Eastern State Technical Fisheries University (Dalrybvtuz) 52b, Lugovaya St., Vladivostok, 690087, Russia

Gennadii B. Gorelik (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of PNU)

Vladimir V. Manitsyn (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of Dalrybvtuz)

Oleg N. Mozolev (Senior Lecturer of PNU)

ABSTRACT: Authors shows the results of searching for low-sulfur low-viscosity (dribbling) fuels for bunkering from the position of not only the effect of fuel characteristics on the wear of the fuel supply equipment, but also from the point of influence of the diesel operation and its fuel supply equipment on the reliability.

Keywords: *топливоподающая аппаратура, low-sulphur low-viscosity fuel, fuel characteristics, wear of plunger, reliability, fuel injection settings, fuel supply equipment*

Приведены результаты исследования рационального выбора малосернистых маловязких топлив при бункеровке судов с позиции не только влияния характеристик топлива на износ топливной аппаратуры, но и влияния рабочих процессов дизеля и его топливоподающей аппаратуры на надежность.

При бункеровке судов особенно в иностранных портах возникает вопрос рационального выбора топлива: или из соображений стоимости, или исходя из работоспособности двигателя и его топливоподающей аппаратуры (ТПА), или обеспечения экологии, согласно требований приложения VI МК Марпол 73/78, а возможно также из обеспечения компромиссных условий. Широкое применение находят низкосернистые маловязкие дистиллятные топлива (НМДТ) типа DMX вследствие их низкой стоимости. К сожалению, использование НМДТ приводит к повышенным износам ТПА вследствие малой вязкости топлива и последующему снижению показателей надежности дизеля. Но зато решаются экологические проблемы, связанные с наиболее жесткими требованиями для районов контроля вредных выбросов оксидов серы. С января 2015 г. для всех судов при заходе в зоны SEGA содержание SOx в выхлопных газах не должно превышать 0,4 г/(кВт·ч), что обеспечивается при содержании серы в судовом топливе менее 0,1%. Поэтому НМДТ типа DMX оказались столь востребованными в эксплуатации судовых дизелей в первую очередь в Азиатско-Тихоокеанском регионе.

Однако имеет место повышенный износ главного узла судового двигателя – ТПА из-за невысокой вязкости этих топлив, характеризующей внутреннее трение в элементах ТПА и способность сопротивляться движению частиц в нагнетательном трубопроводе высокого давления. Вязкость влияет на сгорание топлива и бесперебойную работу топливной системы. Направляющая часть плунжерной пары начинает работать в условиях граничного трения при действии больших боковых сил. Снижается ресурс топливного насоса высокого давления (ТНВД), а, следовательно, и самого дизеля (снижаются показатели работоспособности, безотказности и долговечности). При этом потери могут быть существенно выше, чем выигрыш от низких затрат на приобретение топлива. Практически на износ влияют два параметра топлива: его вязкость и наличие серы.

Проведенный анализ в работе [1, 2] позволил выйти на методику определения зависимости диаметра пятна износа (ДПИ) плунжерных пар ТПА от вязкости и содержания общей серы – как главных характеристик топлива. Так, сера оказывает небольшое влияние на ДПИ и, следовательно, и на износ в широком диапазоне ее содержания в топливе, начиная со значения 0,05 и до 0,5%. Повышенное значение количества серы в топливе вызывает высокую коррозию деталей топливной системы. Зато вязкость при ее значениях, меньших 2 сСт, существенно влияет на износ плунжерных пар (рисунок 1).

Данная методика оценки износа деталей ТПА позволяет в эксплуатации при бункеровке выбирать из широкого диапазона НМДТ топлива, минимально влияющие на надежность работы дизеля.

При этом целесообразно также учитывать процессы топливоподачи, которые в свою очередь зависят от вида топлива с его физико-механическими характеристиками: плотности, сжимаемости и вязкости.

Эти характеристики существенно влияют на утечки топлива по направляющей плунжера и золотниковой его части и их износы, на работу распылителя и его ресурсные показатели вследствие удара запорной иглы при посадке в седло. На рабочий процесс дизеля, его экономичность и износы ТПА [3] оказывают влияние: характер посадки иглы и скорость ее посадки на седло распылителя, доля топлива, поданная за период посадки, давление в штуцере ТНВД с позиции величины боковой силы в насосе и механических нагрузок в приводе плунжера, давление впрыскивания у форсунки, определяющих топливную экономичность, повторные впрыскивания и т.п.

Таким образом, при выборе топлива при бункеровке следует принимать во внимание и рабочий процесс двигателя с его ТПА, его топливную экономичность, потери, связанные с выбором топлива, а также необходимость настройки дизеля по углу опережения впрыска топлива и т.п.

Исследование влияния НМДТ на процессы топливоподачи проводилось с использованием математической модели топливной аппаратуры для судового дизель-редукторного агрегата 6ЧНСП18/22-600 при работе на номинальном режиме при частоте вращения коленчатого вала 1000 мин^{-1} на различных топливах типа DMX облегченного фракционного состава, дизельном топливе и топливе утяжеленного фракционного состава при различных значениях вязкости [3]. Соответственно учитывались физико-механические свойства топлива: сжимаемость и плотность. Результаты расчетов для нескольких вариантов сведены в таблицу 1 и представлены на рисунках 2-5.

Таблица 1 – Параметры процессов топливоподачи при использовании низкосернистых маловязких дистиллятных судовых топлив типа DMX

№	g_1 , г/цикл	g_2 , г/цикл	g_2/g_1 , %	$g_{пу}$, %	$c_{пу}$, см/с	φ_n , °ПКВ	φ_k , °ПКВ	$\varphi_{вп}$, °ПКВ	$p_{нmax}$, МПа	$p_{кmax}$, МПа	$p_{фmax}$, МПа	$\bar{p}_{фint}$, МПа	h_a , см
	– работа на стандартном дизельном топливе с вязкостью $\nu = 3 \text{ сСт}$ при плотности $\rho = 0,84 \text{ г/см}^3$												
1	0,515	0,032	6,21	1,91	153	23,80	40,43	16,65	82,7	78,1	56,1	38,0	0,475
	– работа на топливах типа DMX облегченного фракционного состава с вязкостью $\nu = 6; 3; 1 \text{ сСт}$ соответственно при плотности $\rho = 0,80 \text{ г/см}^3$;												
2	0,516	0,052	10,04	2,01	169	24,40	41,95	17,55	73,8	90,6	52,7	36,3	0,580
3	0,513	0,050	9,55	1,93	134	24,40	41,80	17,40	73,8	80,3	52,5	36,3	0,590
4	0,520	0,036	7,00	1,06	80	24,45	41,70	17,25	73,3	89,5	51,7	36,6	0,620
	– работа на топливах типа DMX утяжеленного фракционного состава с вязкостью $\nu = 6; 3; 1 \text{ сСт}$ соответственно при плотности $\rho = 0,90 \text{ г/см}^3$;												
5	0,529	0	0	1,74	122	23,10	38,95	15,85	98,3	93,2	62,9	41,0	0,480
6	0,536	0	0	1,46	111	23,10	39,10	16,00	99,3	93,7	62,7	41,4	0,510
7	0,553	0	0	1,25	94	23,10	39,50	16,40	98,4	10,2	62,1	41,8	0,540

Обозначения: g_1 - основная подача топлива, g_2 - повторное впрыскивание; g_2/g_1 - доля повторного впрыскивания; $g_{пу}$ - доля топлива, поданного за период посадки иглы; $c_{пу}$ - скорость посадки иглы на седло; φ_n - начало подъема иглы; φ_k - угол посадки иглы; $\varphi_{вп}$ - продолжительность основного впрыскивания; $p_{нmax}$ - максимальное давление в штуцере насоса высокого давления; $p_{кmax}$ - максимальное давление перед форсункой в месте установки датчика давления; $p_{фmax}$ - максимальное давление под дифференциальной площадкой иглы; $\bar{p}_{фint}$ - интегральное давление в форсунке; h_a - активный ход плунжера; °ПКВ - угол поворота кулачкового вала, град.

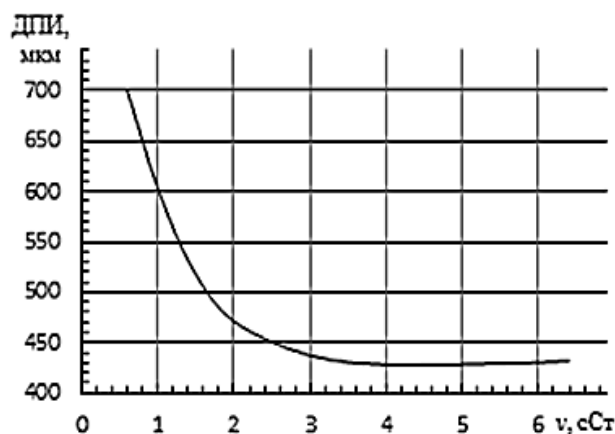


Рисунок 1 – Зависимость диаметра пятна износа плунжера от вязкости НМДТ

За основу принят номинальный режим работы. В связи с повторными впрыскиваниями (варианты 1-4) учитывалась полная цикловая подача, а эффективность сгорания принималась практически одинаковой для основной подачи и повторного впрыскивания (в действительности эффективность сгорания в период повторного впрыскивания существенно ниже).

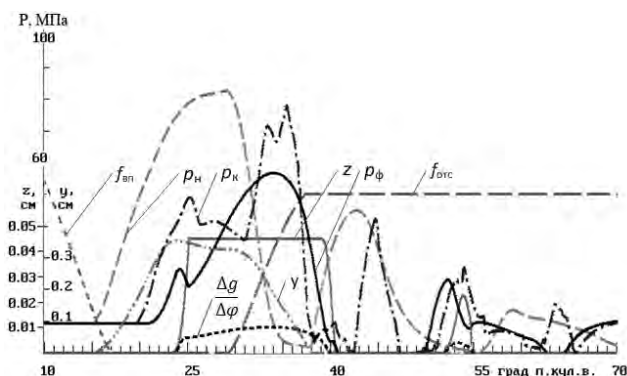


Рисунок 2 – Работа на стандартном дизельном топливе с вязкостью 3 сСт (Вариант №1)

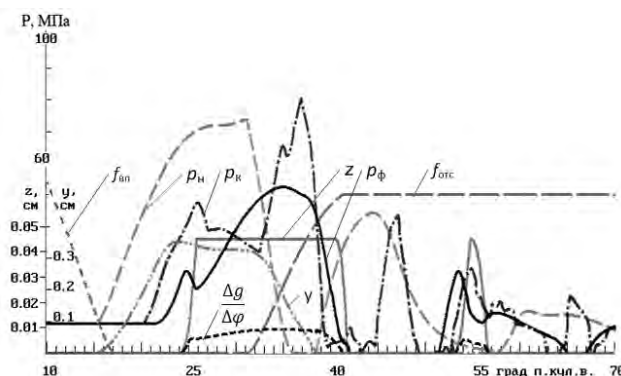


Рисунок 3 – Работа на топливе облегченного фракционного состава с вязкостью 3 сСт (Вариант №3)

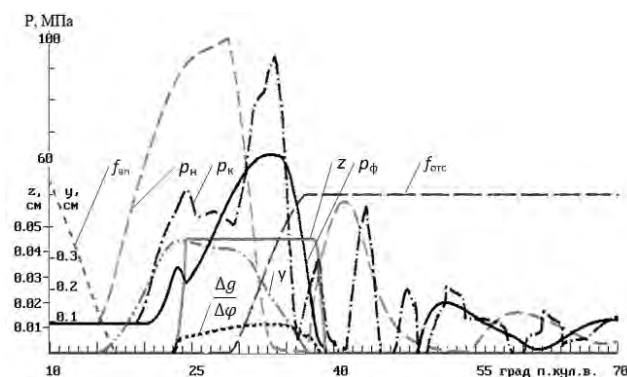


Рисунок 4 – Работа на топливе утяжеленного фракционного состава с вязкостью 3 сСт (Вариант №6)

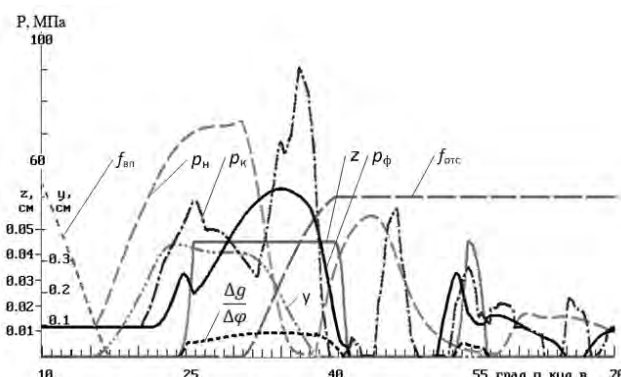


Рисунок 5 – Работа на топливе облегченного фракционного состава с вязкостью 1 сСт (Вариант №2)

В варианте №1 представлен рабочий процесс ТПА при работе на стандартном дизельном топливе с вязкостью 3 сСт и при характерных значениях сжимаемости $\alpha = 0,000009 \text{ МПа}^{-1}$ и плотности $0,84 \text{ г/см}^3$. В вариантах с номерами 2, 3, 4 представлены рабочие процессы ТПА для топлив НМДТ типа DMX облегченного фракционного состава при характерных значениях сжимаемости $\alpha = 0,000011 \text{ МПа}^{-1}$, плотности $0,8 \text{ г/см}^3$ и вязкости $\nu = 6, 3$ и 1 сСт соответственно. В вариантах с номерами 5, 6 и 7 представлены рабочие процессы ТПА для топлив НМДТ типа DMX утяжеленного фракционного состава при характерных значениях сжимаемости $\alpha = 0,000007 \text{ МПа}^{-1}$, плотности $0,9 \text{ г/см}^3$ и вязкости $\nu = 6, 3$ и 1 сСт соответственно. На рисунках 2-5 представлены рабочие процессы топливоподачи для вариантов 1, 2, 3, 6.

В первую очередь интерес представляет влияние вязкости НМДТ на протекание процессов топливоподачи и, соответственно, рабочего процесса дизеля [4, 5]. Следует отметить, что существенно (на 6,8%) увеличивается активный ход плунжера для топлива облегченного фракционного состава, для утяжеленного топлива – на 11%. Это связано с увеличением утечек топлива по уплотняющей части плунжера и золотниковой его части. Увеличение активного хода компенсируется автоматическим регулятором скорости, у которого достаточно большой запас конструктивного хода. Положительным эффектом снижения вязкости с 6 сСт до 1 сСт следует считать уменьшение повторного впрыскивания с 10 до 7%, (работа на утяжеленном топливе проходит вообще без повторных впрыскиваний). Происходит снижение показателей g_{nu} и c_{nu} , что с одной стороны уменьшает количество топлива, поданно-

го за период посадки иглы, обеспечивает более качественное и полное выгорание топлива, снижает риск нагарообразования сопел распылителя, с другой стороны – обеспечивается снижение скорости посадки иглы на седло со 169 см/с до 80 см/с (для тяжелого топлива со 122 см/с до 94 см/с). Интегральное давление топлива у форсунки при этом несколько возрастает, таким образом, рабочий процесс протекает без явных изменений.

Повторные впрыскивания при работе на НМДТ по сравнению с работой на дизельном топливе возрастают более, чем на 3% (при переходе на утяжеленные топлива повторное впрыскивание исчезает). Следовательно, топливо утяжеленного фракционного состава позволяет повысить топливную экономичность и уменьшить нагарообразование распылителей и в цилиндре, повысив тем самым их ресурс. Но отметим, что механическая нагруженность плунжера и его привода значительно увеличивается, давление у насоса достигает величины 98,4 МПа по сравнению с 73,8 МПа при работе на топливе облегченного фракционного состава и 82,7 МПа при работе на дизельном топливе. При этом угол опережения впрыскивания увеличивается почти на градус, что потребует его настройки на дизеле.

Таким образом, при выборе вида топлива при бункеровке следует учитывать климатологические особенности эксплуатации (лето или зима), так как вязкость существенно зависит от температуры, и имеет место ограничение по вязкости [2, 6, 7]. Желательно не использовать НМДТ с вязкостью, меньшей 1,0-1,5 сСт.

Выводы:

– В теорию и практику широкого применения дешевых низковязких малосернистых дистиллятных топлив внесены новые представления, позволяющие получать более высокий экономический эффект при обеспечении надежности работы судовых дизелей и выполнения экологических требований при эксплуатации.

– Целесообразно использование топлив облегченного фракционного состава типа DMX с вязкостью от 1,5 сСт и более, при этом несколько снижается механическое нагружение привода плунжера.

– При применении топлив DMX утяжеленного фракционного состава с плотностью $\rho = 0,9 \text{ г/см}^3$ и вязкостью от 1 до 6 сСт следует увеличить угол опережения впрыска топлива примерно на 1 град. При этом обеспечивается более экономичная работа дизеля, но надежность привода насоса высокого давления снижается из-за увеличенных механических нагрузок привода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лыу, К.Х. Результаты ресурсных испытаний плунжерных пар топливных насосов на различных видах судовых дистиллятных топлив / К.Х. Лыу, А.В. Надежкин, С.В. Глушков // -Морские интеллектуальные технологии. -2016. -№3(33). -Т.1. -С. 146-152.
- 2 Надежкин, А.В. Оценка влияния физико-химических показателей судовых дистиллятных топлив на трибологические свойства / А.В. Надежкин, К.Х. Лыу // -Проб. трансп. Дальн. Вост.: мат-лы XXI межд. науч.-практ. конф. 2-4 окт. 2015. (FEBRAT-15). -Владивосток: Дальневост. отд. Рос. акад. трансп., 2015. -С. 188-190.
- 3 Горелик, Г.Б. Процессы топливоподачи в дизелях: природа межциклового неустойчивости, моделирование и расчет: монография / Г.Б. Горелик. -Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. -246 с.
- 4 Кича, Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин. -Владивосток : Изд-во Мор. гос. ун-в., 2011. -372 с.
- 5 Кича, Г. П. Влияние очистки масел на их расход в дизельных ДВС / Г.П. Кича // -Химия и технология топлив и масел. -1986. -№8. -С. 22-24.
- 6 Кича, Г. П. Моделирование изнашивания судовых тронковых дизелей при использовании унифицированных моторных масел / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин, С.А. Завадский // -Трение и износ. -2004. -Т.25. -№6. -С. 635-641.
- 7 Kicha, G.P. Oil cleaning in internal combustion engines / G.P. Kicha // -Chemistry and Technology of fuels and Oils. -1986. -№8. -P. 36-38.

REFERENCES

- 1 Lyu K.Kh., Nadezhkin A.V., Glushkov S.V. Results of endurance tests of plunger pairs of fuel pumps working with various types of marine distillate fuels [Rezultaty resursnykh ispytaniy plunzhernykh par toplivnykh nasosov na razlichnykh vidakh sudovykh distillyatnykh topliv]. *Marine intellectual technologies [Morskie intellektual'nye tekhnologii]*. 2016. No. 3(33). Vol.1. pp. 146-152.
- 2 Nadezhkin A.V., Lyu K.Kh. Evaluation of the influence of physical and chemical parameters of marine distillate fuels on its tribological properties [Otsenka vliyaniya fiziko-khimicheskikh pokazatelei sudovykh distillyatnykh topliv na tribologicheskie svoystva]. *Problemy transporta Dal'nego Vostoka -FEBRAT-15*. Vladivostok. Far Eastern branch of the Russian Transport Academy Publ. 2015. pp.188-190.
- 3 Gorelik, G.B. Fuel supply in diesel engines: the nature of inter-cycle variation: calculation and modeling [Protsesty toplivopodachi v dizelyakh: priroda mezhtsiklovoi nestabil'nosti, modelirovanie i raschet]. Khabarovsk. Pacific Nat. Univ. 2015. 246 p.
- 4 Kicha G.P., Perminov B.N., Nadezhkin A.V. Resource-conserving oil consuming in marine diesels [Resursosberegayushchee masloispol'zovanie v sudovykh dizelyakh]. -Vladivostok. Maritime St. Univ. 2011. 372 p.
- 5 Kicha G.P. Effect of oil purification on its consumption in diesel engines [Vliyanie ochistki masel na ikh raskhod v dizel'nykh DVS]. *Chemistry and technology of Fuels and Oils [Khimiya i tekhnologiya topliv i mase]*. 1986. No. 8. pp. 22-24.
- 6 G.P. Kicha, B.N. Perminov, A.V. Nadezhkin, S.A. Zavadskii Wear simulation of vessel trunk-piston diesels using unified motor oils [Modelirovanie iznashivaniya sudovykh tronkovykh dizelei pri ispol'zovanii unifitsirovannykh motornykh masel]. *Friction and wear [Trenie i iznos]*. 2004. Vol. 25. No. 6. pp. 635-641.
- 7 Kicha, G.P. Oil cleaning in internal combustion engines. *Chemistry and Technology of fuels and Oils*. 1986. №8. pp. 36-38.

параметры топливоподачи

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Горелик Геннадий Бенционович, докт. техн. наук, профессор ТОГУ
Маницын Владимир Викторович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз»
Мозолев Олег Николаевич, старший преподаватель ТОГУ
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 680035, г.Хабаровск, ул.Тихоокеанская, 136, ТОГУ
690087, г.Владивосток, ул.Луговая, 52Б, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз»

ВЛИЯНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ВЫПУСКНОЙ СИСТЕМЫ НА РАБОТУ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.С. Алехин, Л.К. Задорожнин

EFFECT OF EXHAUST SYSTEM MALFUNCTIONS ON DIESEL ENGINE OPERATION

Siberian Transport University (STU) 191, Dusi Koval'chuk St., Novosibirsk, 630049, Russia

Aleksei S. Alekhin (Ph.D. of Engineering Sciences, Senior Lecturer of STU)

Leonid K. Zadorozhnin (Master's Degree of STU)

ABSTRACT: Authors demonstrate the way of estimation of a condition of exhaust system.

Keywords: exhaust system, MARPOL, internal combustion engine, fuel injection, electronic system

Показан способ оценки состояния системы отвода отработавших газов.

Основой любого транспортного средства, является двигатель внутреннего сгорания, преобразующий химическую энергию в механическую работу. Преимущественно на водном и наземном транспорте, а так же машинах специального назначения используется поршневой дизельный двигатель, который в последнее десятилетие оснащается электронными системами управления рабочими процессами, сложной многоступенчатой системой очистки выхлопных газов встроенной в выхлопную систему. Токсичность отработавших газов (ОГ) внедорожных самоходных машин регулируются директивами 2000/303/ЕС и 2002/88/ЕС. Для вновь выпускаемых судов различных проектов, а так же ранее выпущенных действуют требования «Приложение VI к Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов 1973 года, изменённой Протоколом 1978 года к ней (МАРПОЛ 73/78) (пересмотренное)» [1]. Требования по содержанию вредных веществ в отработавших газах судовых энергетических установок (СЭУ) существенно отличаются от требований для наземной техники, однако для вновь выпускаемых проектов они сильно ужесточаются. Все эти требования к выбросам ОГ вынуждают моторостроительные компании совершенствовать элементы дизельных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), в том числе выхлопную систему.

Основными элементами очистки выхлопных газов у дизельного ДВС являются: каталитический нейтрализатор; сажевый фильтр; система SCR (впрыск мочевины) [2]. Для контроля и регулировки состава смеси применяется датчик состава смеси (лямбда-зонд). Каталитический нейтрализатор и сажевый фильтр, составляющие выхлопную систему, в процессе эксплуатации теряет свои свойства, забиваются твёрдыми частицами ОГ, тем самым затрудняет проход выхлопных газов по выпускному тракту.

Цель исследования – рассмотреть влияние неисправностей выхлопной системы современного дизельного двигателя на диагностический параметр – угловое ускорение коленчатого вала.

Известно, что техническое состояние ДВС главным образом влияет на производительность водного и наземного транспорта. Эффективность работы двигателей внутреннего сгорания зависит от технического состояния механизмов и его систем, а выходными показателями, описывающими частично или полностью техническое состояние, являются: эффективная мощность, крутящий момент, часовой и удельный расход топлива в номинальном режиме, частота вращения коленчатого вала соответствующая максимальной мощности и крутящего момента двигателя [3]. Согласно проведённому анализу отказов за три последних года доля отказов, приходящихся на систему выпуска отработавших газов дизельных двигателей внутреннего сгорания, составляет около 13% от основных элементов энергетической установки. Выборка отказов по основным элементам дизельных двигателей представлена на рисунке 1.

Согласно аналитическому обзору наибольшее количество отказов системы выпуска отработавших газов (ОГ) приходится на:

- разгерметизацию (повреждение) выпускного тракта, соединений, нейтрализатора и сажевого фильтра;
- препятствие движению ОГ вследствие снижения пропускной способности нейтрализатора, сажевого фильтра.

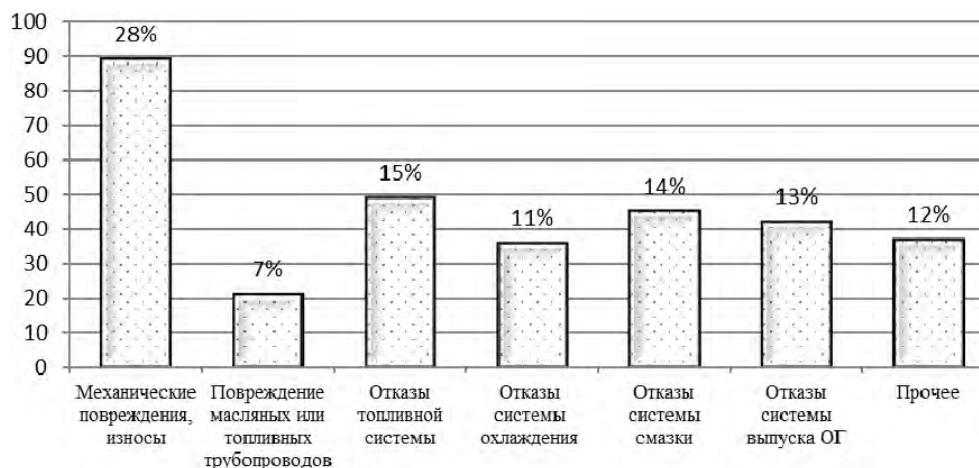


Рисунок 1 – Выборка отказов по основным элементам дизельных двигателей

В соответствии с поставленными задачами исследования была произведена оценка влияния неисправностей системы выпуска ОГ дизельных ДВС на диагностический параметр – угловое ускорение коленчатого вала (КВ).

Исследования проводились на рядном шестицилиндровом дизельном двигателе CAT C7 асерт с электронной системой управления и гидравлическим приводом подачи топлива.

Исходные данные получены с помощью программно-аппаратного диагностического комплекса, разработанного в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения» на кафедре «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», для получения данных об угловом ускорении КВ.

Для имитации неисправности сопротивление движению выхлопных газов (противодавление) в выхлопной системе применяется ряд дроссельных пластин с разной площадью отверстия, которые устанавливаются между фланцами выпускной системы. Для определения подходящего диаметра отверстия в дроссельной пластине (противодавление, возникающее в результате изменения диаметра) был использован манометр МТ-63 с ценой деления 0,01 МПа и классом точности 2,5, установленным до дроссельной пластины. Согласно [4], показания манометра при определении противодавления выпускной системы не должны превышать 0,015-0,02 МПа при 1500 об/мин КВ.

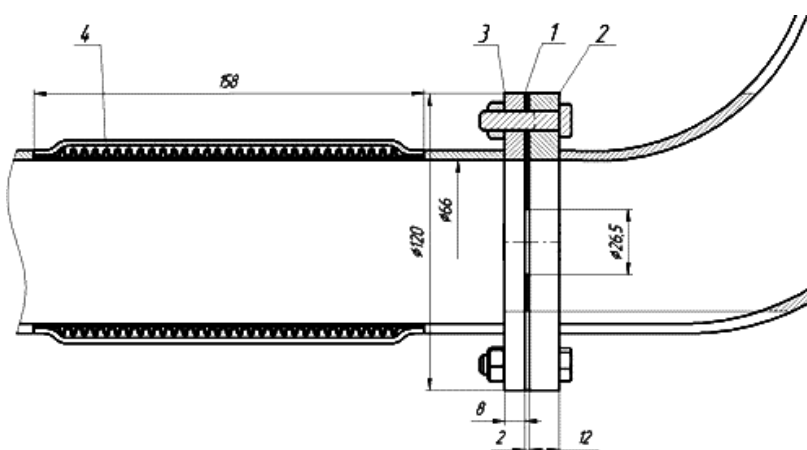


Рисунок 2 – Общий вид расположения дроссельной пластины и фланцев выпускной системы: 1-дроссельная пластина №1; 2-фланец; 3-фланец приёмной трубы; 4-гофра

Эскиз общего вида расположения дроссельной пластины и фланцев выхлопной системы изображён на рисунке 2.

В ходе эксперимента были применены 3 дроссельные пластины с площадью отвер-

стей: $S_1 = 416,0 \text{ мм}^2$; $S_2 = 551,0 \text{ мм}^2$; $S_3 = 1133,5 \text{ мм}^2$.

Материал, используемый в качестве пластин – паронит ПОН-Б толщиной 2 мм.

Экспериментальные исследования проводились в несколько этапов:

- прогрев дизельного ДВС до рабочей температуры;
- установка измерительного оборудования;
- синхронизация по 1-му цилиндру;
- установка манометра и дроссельной пластины;
- запись данных на холостых оборотах равные 1500 об/мин или 25 об/с.

Полученные данные с программно-аппаратного комплекса были обработаны с помощью программного обеспечения Microsoft Excel. Для расчёта угловых ускорений в Microsoft Excel были использованы формулы [5]:

- Частота вращения определяется по формуле

$$n = \frac{1}{(t_{i+k} - t_i)360/k}, \text{ об/с}, \quad (1)$$

где t_i – время соответствующее точке со скоростью вращения n_i ;

k – коэффициент накопления, определяющий способ формирования следующей точки этой зависимости.

Угловое ускорение вращения КВ определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{n_2 - n_1}{(t_2 - t_1)\pi}, \text{ рад/с}^2, \quad (2)$$

здесь t_2 и t_1 соответствует точке n_2 и n_1 .

Согласно формулам, были обработаны и получены графики угловых ускорений коленчатого вала. График зависимости угловых ускорений КВ от времени при исправном состоянии дизельного ДВС представлен на рисунке 3.

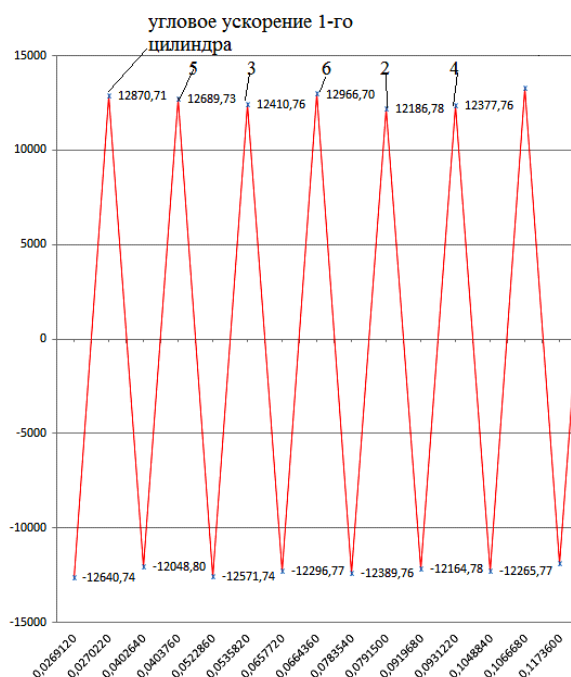


Рисунок 3 – График зависимости углового ускорения от времени для каждого цилиндра. Исправное состояние дизельного ДВС, значение противодавления 0,0 МПа

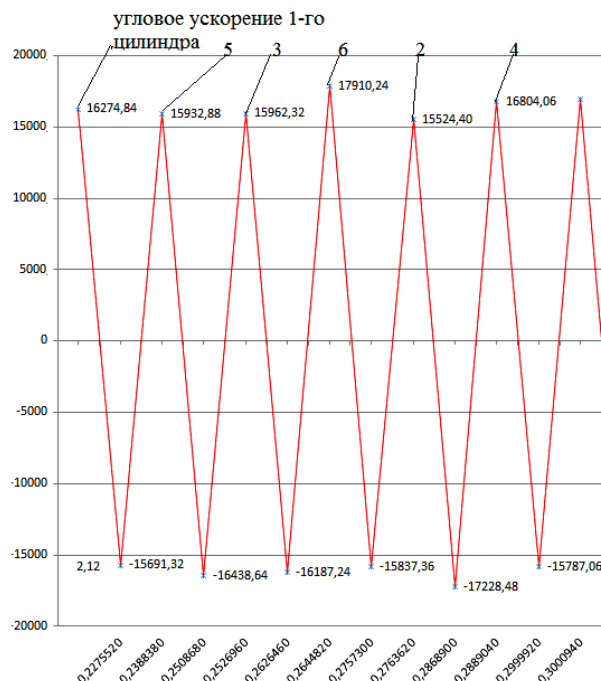


Рисунок 4 – График зависимости углового ускорения от времени для каждого цилиндра. Неисправное состояние дизельного ДВС, значение противодавления 0,07 МПа

График зависимости угловых ускорений КВ от времени неисправного дизельного ДВС представлен на рисунке 4.

Анализируя данные угловых ускорений КВ можно сделать вывод об увеличении угловых ускорений коленчатого вала при увеличении сопротивления движения ОГ. Связано это с

тем, что система управления ДВС поддерживает заданную частоту вращения путём увеличения подачи топлива в цилиндры. Угловые ускорения каждого цилиндра сведены в таблицу 1.

В результате экспериментального исследования, определена зависимость между сопротивлением движению выхлопных газов (противодавление выпускной системы) и угловым ускорением коленчатого вала. В ходе регрессионного анализа, была определена уравнение регрессии

$$y = 12605,54 + 46987,54x, \quad (1)$$

где y – угловое ускорение коленчатого вала;

x – сопротивления движению выхлопных газов (противодавление).

Таблица 1 – Значения амплитуд угловых ускорений коленчатого вала при исправном и неисправном техническом состоянии, рад/с²

Номер цилиндра по порядку работы	1	2	3	4	5	6
Противодавление равно 0,0 МПа (исправное состояние)						
Положительное ускорение	12870,71	12186,78	12410,76	12377,76	12688,73	12966,70
Отрицательное ускорение	12048,80	12164,73	12296,74	12265,73	12571,74	12389,76
Противодавление равно 0,02 МПа (неисправное состояние)						
Положительное ускорение	14373,56	13452,65	14734,53	13934,61	13498,65	13302,67
Отрицательное ускорение	13324,67	13500,65	12934,72	13449,66	12853,71	13455,65
Противодавление равно 0,05 МПа (неисправное состояние)						
Положительное ускорение	15514,84	15966,86	15809,86	15753,52	15516,44	15418,62
Отрицательное ускорение	15189,58	16010,32	15633,16	15247,82	15153,04	16405,28
Противодавление равно 0,07 МПа (неисправное состояние)						
Положительное ускорение	16274,84	15524,40	15962,32	16804,06	15932,88	17910,24
Отрицательное ускорение	15691,32	17228,48	16187,24	15787,06	16438,64	15837,36

Согласно уравнению регрессии модель линейна для рядного шестицилиндрового дизельного двигателя с электронной системой управления при данном режиме диагностирования (все системы исправны, прогрев до рабочей температуры, обороты холостого хода равны 1500 об/мин), изменение противодавления на 1 МПа изменяет угловое ускорение на 46987,52 рад/с². Можно сделать вывод, что электронная система управления двигателем достаточно чувствительна на неисправности, в данном случае сопротивление движению выхлопных газов.

Таким образом, неисправность выпускной системы, влияет в первую очередь на газообмен, который влияет на протекающие рабочие процессы в двигателе и далее, на диагностический параметр – угловые ускорения коленчатого вала. На основании выше изложенного можно сделать заключение о необходимости проведения диагностики систем очистки ОГ при техническом обслуживании и текущих ремонтах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- 1 МАРПОЛ. Книга III, пересмотренное Приложение VI к МАРПОЛ «Правила предотвращения загрязнения воздушной среды с судов»: пер. с англ. -СПб: ЗАО ЦНИИМФ, 2012. -87 с.
- 2 Система нейтрализации отработавших газов: Программа самообучения / Пер. ООО «ФОЛЬКСВАГЕН Груп Рус». -Вольфсбург: VOLKSWAGEN AG, 2009. -56 с.
- 3 Семенов, Б.Н. Рабочий процесс высокооборотистых дизелей малой мощности / Б.Н. Семенов, Е.П. Павлов, В.П. Копцев. -Л.: Машиностроение, 1990. -240 с.
- 4 Хрулёв, А.Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей / А.Э. Хрулёв. -М.: Изд-во «За рулём», 1998. -440 с.
- 5 Алехин А.С. Оценка технического состояния судовых двигателей внутреннего сгорания по неравномерности частоты вращения коленчатого вала: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.05 / Алехин Алексей Сергеевич. -Новосибирск, 2017. - 129 с.

- 1 MARPOL BOOK III, Revised MARPOL Annex VI "Prevention of Air Pollution from Ships"
- 2 System of neutralization of the exhaust gases: self-study program. Wolfsburg. VOLKSWAGEN AG, 2009. 56 p.
- 3 Semenov B.N., Pavlov E.P., Koptsev V.P. Operation of low power high-speed diesel engines [Rabochii protsess vysokoborotistykh dizelei maloi moshchnosti]. Leningrad. Mashinostroyeniye Publ. 1990. 240 p.
- 4 Khrulev, A.E. Foreign cars engine repair [Remont dvigatelei zarubezhnykh avtomobilei]. Moscow. Za rulem Publ. 1998. 440 p.
- 5 Alekhin, A.S. Estimation of technical condition of marine internal combustion engines based on uneven speed of the crankshaft [Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya sudovykh dvigatelei vnutrennego sgoraniya po neravnomernosti chastoty vrashcheniya kolenchatogo vala]. Novosibirsk. 2017. 129 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

система выпуска, конвенция МАРПОЛ, двигатель внутреннего сгорания, впрыск топлива, электронная система

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Алехин Алексей Сергеевич, канд. техн. наук, старший преподаватель, СГУПС
Задорожний Леонид Константинович, магистрант, СГУПС

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, СГУПС

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЯ Ч10,5/12 ПРИ РАБОТЕ НА СУДОВОМ МАЛОВЯЗКОМ ТОПЛИВЕ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Е.С. Губин, А.С. Дмитриев, С.В. Титов, Г.С. Юр

INVESTIGATION OF SPEED CHARACTERISTICS OF Ч10.5/12 DIESEL WHEN OPERATING ON MARINE LOW-VISCOSITY FUEL

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Evgenii S. Gubin (Master's Degree of SSUWT)

Aleksandr S. Dmitriev (Graduate student of SSUWT)

Sergei V. Titov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

Gennadii S. Yur (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

ABSTRACT: The results of comparative analysis of physical properties of diesel fuel and marine low-viscosity fuel are presented, as well as the results of comparative tests of the Ч10.5/12 diesel engine when operating on these fuels.

Keywords: diesel speed characteristics, marine low-viscosity fuel, fuel consumption, pollutant emission, exhaust gases

Представлены результаты сравнительных исследований физических свойств дизельного топлива и судового маловязкого топлива, а также результаты сравнительных испытаний дизеля Ч10,5/12 при работе на этих топливах.

Более 60% эксплуатационных расходов по содержанию судна составляют расходы на топливо. Поэтому перевод судовых дизелей на низкокачественные дешёвые сорта топлива приносит судовладельцу значительную прибыль.

В настоящее время на речном флоте широко применяется судовое маловязкое топливо (СМТ), который производится по ТУ 38.101.567-2014 [2]. СМТ в 1,5 раза дешевле дизельного дистиллятного топлива ГОСТ 305-2013.

В процессе производства СМТ к дизельному дистиллятному топливу добавляются лёгкие газойли. В отличие от дизельного топлива СМТ имеет высокое содержание серы и более низкое цетановое число. Также в составе СМТ имеются асфальтено-смолистые вещества, способные образовывать с парафинами прочную кристаллическую структуру. Это затрудняет хранение, транспортировку и применение таких судовых маловязких топлив.

Если мало и среднеоборотные дизели судовые дизели не особо чувствительны к качеству применяемого топлива, то при использовании СМТ в высокооборотных дизелях можно ожидать значительного ухудшения их энергетических и экологических характеристик.

В настоящее время подготовлены к производству на заводе «Звезда» новое семейство современных универсальных дизелей «Пульсар-150» с частотой вращения коленчатого вала 1500-2250 об/мин и на Уральском дизель-моторном заводе новое семейство дизелей ДМ-185 с частотой вращения коленчатого вала 1500-1900 об/мин [1]. Поэтому исследования особенностей рабочего процесса быстроходных дизелей при переводе их на дешёвое судовое маловязкое топливо весьма актуальны.

В таблице приведены сравнительные характеристики дизельного дистиллятного топлива и судового маловязкого топлива, используемого в Томской судоходной компании. Исследование характеристик топлив

Таблица – Характеристики дизельного дистиллятного топлива и судового маловязкого топлива

Название параметра	Дизельное топливо	Судовое маловязкое топливо
Плотность топлива, кг/м ³	860	844
Температура вспышки, °С	67,5	62,0
Кинематическая вязкость, сСт	3,61	6,75
Кинематическая вязкость, °Е	1,24	1,56

выполнено в соответствии с Требованиями государственных стандартов [3, 4].

Сравнивая свойства топлив, приведенных в таблице 1, можно отметить, что в сравнении с дизельным дистиллятным топливом у судового маловязкого топлива плотность меньше на 19 кг/м³, температура вспышки меньше на 4,5 °С. Вязкость СМТ больше на 3,14 сСт, или в 1,9 раза.

Известно, что с увеличением вязкости ухудшаются процессы смесеобразования и сгорания, что не может не оказать негативного влияния на энергетические и экологические характеристики дизеля.

Сравнительные испытания работы высокооборотного дизеля на дизельном и судовом маловязком топливе проводились в лаборатории судовых двигателей внутреннего сгорания на специальной экспериментальной установке, изготовленной на базе дизеля 2Ч10,5/12. Дизели такой размерности с полуразделённой камерой сгорания получили широкое распространение, как в нашей стране, так и за рубежом. Для повышения точности измерений характеристик серийный дизель Д21, был переоборудован в одноцилиндровый отсек. Один из цилиндров дизеля был отключён без демонтажа поршневой группы. Это значительно увеличило потери на трение и удельный эффективный расход топлива.

Исследования проводились в соответствии с Требованиями Государственных стандартов и Требованиям к методам испытаний дизелей [5-7, 9].

На рисунке приведены результаты сравнительных испытаний отсека дизеля на дизельном и судовом маловязком топливе.

При анализе представленных на рисунке 1 результатов испытаний видно, что при переводе двигателя с дизельного топлива на судовое маловязкое увеличились удельный эффективный расход топлива на 12-21%, концентрация оксида углерода на 45-60%, и суммарных углеводородов на 6-18%. Температура отработавших газов увеличилась на 30-35 °.

Содержание оксидов азота повысилась незначительно (в пределах ошибки измерений прибора). Дымность отработавших газов увеличилось почти в десять раз, оксиды серы при работе на дизельном топливе отсутствовали, а на СМТ составило от 14 до 40 ppm

Увеличение удельного эффективного расхода топлива, температуры отработавших газов и дымности при работе на СМТ объясняется ухудшением процессов смесеобразования и сгорания в связи с повышением вязкости и увеличением содержания высокомолекулярных соединений, затягивающих процесс сгорания на линию расширения.

Для улучшения энергетических и экологических характеристик быстроходных дизелей при переводе судовых дизелей на СМТ рекомендуется:

- ограничить содержание серы в топливе до уровня дизельного дистиллятного – даже в ущерб повышения стоимости конечного продукта. Это целесообразно производить на нефтеперерабатывающих заводах;
- для улучшения характеристик СМТ – проводить его модификацию в специальных устройствах гомогенизаторах;

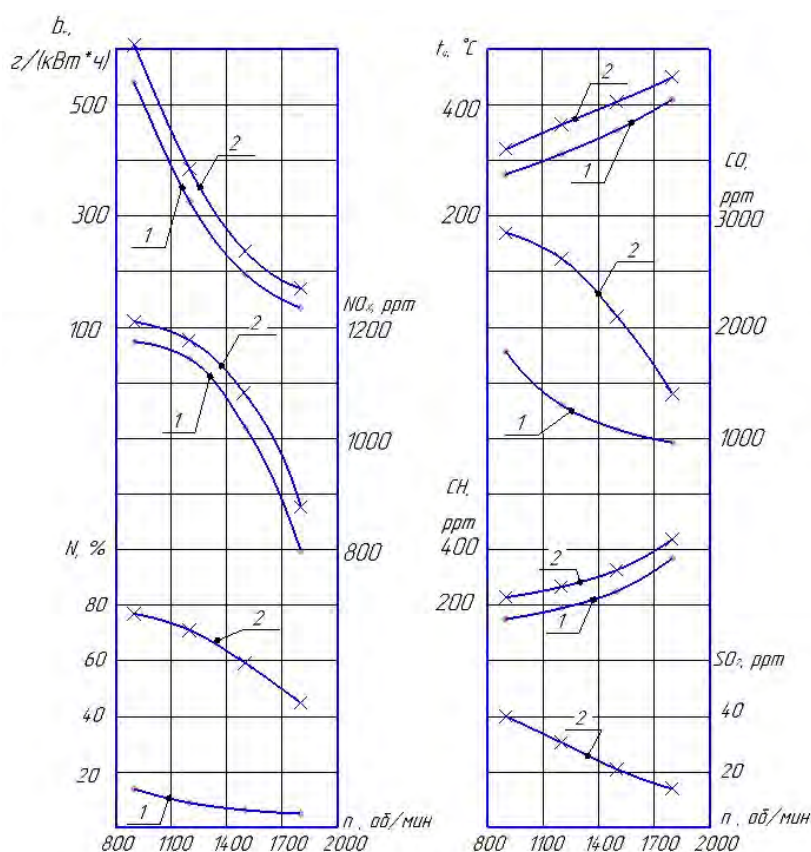


Рисунок – Скоростная характеристика дизеля Ч10,5/12 при работе на дизельном топливе и на судовом маловязком топливе при постоянном крутящем моменте: 1-дизельное топливо; 2-судовое маловязкое топливо; N – дымность отработавших газов по шкале Hartrige, %; NO_x – концентрация оксидов азота, ppm; b_e – удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч); t_g – температура отработавших газов, °C; CO – концентрация оксида углерода, ppm; CH – концентрация углеводородов, ppm; SO – концентрация оксида серы, ppm

– использовать в качестве присадку воду в виде водотопливной эмульсии.

Для подтверждения представленных рекомендаций необходимо провести дополнительные исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Развитие модельного ряда двигателей ПАО «Звезда» и ООО УДМЗ (материалы конгресса CIMAC 2016) // -Двигателестроение. -2016. -№3(285). -С. 32-55.
- 2 ТУ 38.101567-2014. Топливо маловязкое судовое. Технические условия.
- 3 ГОСТ 4333-2014 (ISO 2592:2000). Нефтепродукты, методы определения температуры вспышки и воспламенения в открытом тигле. -Введ. 01-07-2016. -М.: Стандартиформ, 2015. -17 с.
- 4 ГОСТ 33-2000 (ISO 3104-94). Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости. -Введ. 01-01-2002. -М.: Стандартиформ, 2008. -20 с.
- 5 ГОСТ 10448-80. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Правила приемки. Методы испытаний. -Введ. 01-01-1981. -М.: Изд-во стандартов, 1981. -16 с.
- 6 ГОСТ 24028-2013. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Дымность отработавших газов. Нормы и методы определения. -Введ. 01-07-2014. -М.: Стандартиформ, 2014. -11 с.
- 7 ГОСТ 31967-2012. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы измерения. -Введ. 01-07-2014. -М.: Стандартиформ, 2014. -24 с.
- 8 Пахомов, Ю.А. Основы научных исследований и испытаний тепловых двигателей: учебник / Ю.А. Пахомов. -М.: Транслит, 2009. -432 с.
- 9 Стефановский, Б.С. Испытания двигателей внутреннего сгорания / Б.С. Стефановский, Е.А. Скобцев, Е.К. Корси. -М.: Машиностроение. 1972. -368 с.

REFERENCES

- 1 Development of the "Zvezda" and "UDMZ" engine lineup (based on CIMAC Congress information) [Razvitie model'nogo ryada dvigatelei PАО «Zvezda» i ООО UDMZ (materialy kongressa CIMAC 2016)]. *Engine technology [Dvigatelistroenie]*. 2016. N. 3(285). pp. 32-55.
- 2 Technical specifications 38.101567-2014. Low viscosity marine fuel. [Toplivo malovyazkoe sudovoe. Tekhnicheskie usloviya].
- 3 GOST 4333-2014 (ISO 2592:2000). Petroleum products, methods for determining the flashpoint and ignition temperature in an open cup [Nefteprodukty, metody opredeleniya temperatury vspyski i vosplamneniya v otkrytom tigle]. Moscow. Standartinform Publ. 2015. 17 p.
- 4 GOST 33-2000 (ISO 3104-94). Petroleum products. Transparent and opaque liquids. Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity [Nefteprodukty. Prozhachnye i neprozrachnye zhidkosti. Opredelenie kinematicheskoi vyazkosti i raschet dinamicheskoi vyazkosti]. Moscow. Standartinform Publ. 2008. 20 p.
- 5 GOST 10448-80. Marine, locomotive and industrial diesels. Operational acceptance. Methods of testing [Dizeli sudovye, teplovozyne i promyshlennye. Pravila priemki. Metody ispytaniy]. Moscow. Izdatelstvo Standartov Publ. 1981. 16 p.
- 6 GOST 24028-2013. Piston engines. Smoke opacity of diesel exhaust. Standards and methods of measuring [Dvigateli vnutrennego sgoraniya porshnevye. Dymnost' otrabotavshikh gazov. Normy i metody opredeleniya]. Moscow. Standartinform Publ. 2014. 11 p.
- 7 GOST 31967-2012. Piston engines. Harmful exhaust emissions. Standards and methods of measuring [Dvigateli vnutrennego sgoraniya porshnevye. Vybrosoy vrednykh veshchestv s otrabotavshimi gazami. Normy i metody izmereniya]. Moscow. Standartinform Publ. 2014. 24 p.
- 8 Pakhomov Yu.A. Fundamentals of scientific research and testing of thermal engines [Osnovy nauchnykh issledovaniy i ispytaniy teplovykh dvigatelei]. Moscow. Translit Publ. 2009. 432 p.
- 9 Stefanovskii B.S., Skobtsev E.A., Korsi E.K. Internal combustion engine testing [Ispytaniya dvigatelei vnutrennego sgoraniya]. Moscow. Mashinostroenie Publ. 1972. 368 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: скоростные характеристики дизеля, судовое маловязкое топливо, расход топлива, выброс загрязняющих веществ, отработавшие газы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Губин Евгений Сергеевич, магистрант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Дмитриев Александр Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Титов Сергей Владиленинович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Юр Геннадий Сергеевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЯ Ч10,5/12 ПРИ РАБОТЕ НА МОДИФИЦИРОВАННОМ ТОПЛИВЕ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Е.Е. Носонова, А.С. Дмитриев, Г.С. Юр

EXPERIMENTAL RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF Ч10.5/12 DIESEL OPERATING ON MODIFIED FUEL
Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia
Ekaterina E. Nosonova (Graduate student of SSUWT)
Aleksandr S. Dmitriev (Graduate student of SSUWT)
Gennadii S. Yur (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

ABSTRACT: The results of comparative analysis of physical properties of modified diesel fuel are presented in the article, as well as the results of the Ч10.5/12 diesel tests on this fuel.

Keywords: diesel fuel, test results

Представлены результаты сравнительных исследований физических свойств модифицированного дизельного топлива, и результаты испытаний дизеля Ч10,5/12 на этом топливе.

На морском и речном флоте нашли широкое применение различные способы предварительной подготовки тяжелых низкосортных сортов топлива непосредственно на борту судна.

К наиболее известным способам топливоподготовки относятся кавитационная, магнит-

ная и электрическая [1, 2].

В лаборатории СДВС ФГБОУ ВО «СГУВТ» спроектирована и изготовлена экспериментальная установка для обработки (модификации) дистиллятного дизельного топлива, в которой последовательно и многократно использованы эти три способа.

В работе [3] приведены результаты пробных экспериментальных исследований применения модифицированного дизельного топлива на дизеле Ч15/18. Полученные результаты определили перспективность

Таблица – Характеристики дизельного и модифицированного топлива

Название параметра	Дизельное топливо	Модифицированное топливо
Плотность топлива, кг/м ³	845	844
Температура вспышки, °С	67,5	69,0
Кинематическая вязкость, сСт	4,60	3,97
Кинематическая вязкость, °Е	1,30	1,24

проведения научно-исследовательских работ в области исследования физико-химических свойств и практического использования модифицированного топлива.

Сравнительные характеристики базового дистиллятного дизельного топлива ГОСТ 305-2013 и модифицированного топлива полученного на экспериментальной установке представлены в таблице.

Из приведённых в таблице характеристик видно, что в результате совместной кавитационной, магнитной и электрической обработки базового дизельного топлива его кинематическая вязкость уменьшилась на 14%. Остальные характеристики топлива изменились незначительно.

Это свидетельствует о наличии в процессе обработки топлива комплекса физических явлений приводящих к разрушению высокомолекулярных соединений присутствующих в топливе.

На рисунке 1 приведены результаты испытаний дизеля Ч10,5/12 на дизельном и модифицированном топливе.

При переводе дизеля с необработанного дизельного топлива на модифицированное концентрация оксидов азота уменьшилась от 51 до 76 ppm, концентрация суммарных углеводородов уменьшилась от 19 до 42 ppm, дымность от 1,1 до 1,4% по шкале Hartrige. Температура отработавших газов уменьшилась на 7-10 °С, удельный индикаторный расход топлива уменьшился от 14 до 17 г/кВт ч.

Результаты представленных исследований подтверждают целесообразность обработки дизельного топлива перед подачей его в дизель на специальной экспериментальной установке, разработанной и изготовленной в ФГБОУ ВО «СГУВТ» для комплексного улучшения экономических и экологических показателей.

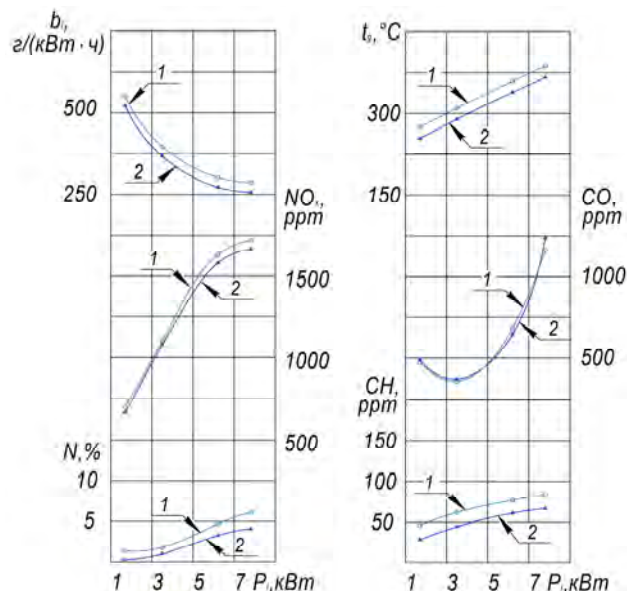


Рисунок 1 – Нагрузочные

характеристики отсека дизеля Ч10,5/12 при работе на различных топливах: 1- необработанное дизельное топливо; 2- модифицированное дизельное топливо; b_i - удельный индикаторный расход топлива, г/(кВт·ч); NO_x - концентрация оксидов азота, ppm; N - дымность отработавших газов по шкале Hartrige, %; t_g - температура отработавших газов, °С; CO - концентрация монооксида углерода, ppm; CH - концентрация суммарных углеводородов, ppm

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Зубрилов, С.П. Ультразвуковая кавитационная обработка топлива на судах / С.П. Зубрилов, В.М. Селиверстов, М.И. Браславский; -Л.: Судостроение, 1988. -80 с.
- 2 Селиверстов, В.М. Экономия топлива на речном флоте / В.М. Селиверстов, М.И. Браславский/ -М.: Транспорт, 1983, -231 с.
- 3 Дмитриев, А.С. Результаты испытаний модифици-

REFERENCES

- 1 Zubrilov S.P., Seliverstov V.M., Braslavskii M.I. Ultrasonic cavitation treatment of marine fuels [Ul'trazvukovaya kavitatsionnaya obrabotka topliva na sudakh]. Leningrad. Sudostroenie Publ. 1988. 80 p.
- 2 Seliverstov V.M., Braslavskii M.I. Fuel economy in river fleet [Ekonomiya topliva na rechnom flote]. Moscow. Transport Publ. 1983. 231 p.

рованного дизельного топлива / А.С. Дмитриев, Д.А. Сибриков, М.А. Шикла, С.В. Титов / Роль науки в развитии морского образования: мат-лы научн.-практ. конф. -Ч.1. - Новосибирск: Изд-во Сибир. гос. унив. водн. трансп., 2015. -С. 168-169.

3 Dmitriev A.S., Sibrikov D.A., Shikula M.A., Titov S.V. Tests results of modified diesel fuel [Rezultaty ispytaniy modifitsirovannogo dizel'nogo topliva]. *Rol' nauki v razvitií morskogo obrazovaniya*. Novosibirsk. Siberian St. Univ. of Water Transp. Publ. 2015. Vol. 1. pp. 168-169.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизельное топливо, модифицированное топливо, результаты испытаний

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Носонова Екатерина Евгеньевна, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Дмитриев Александр Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Юр Геннадий Сергеевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Дальневосточный филиал ФАУ «Российский морской регистр судоходства»

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

И.И. Кулешов, В.М. Ходаковский

NUMERICAL MODELING OF STRAIN HARDENING OF CAST IRON PARTS OF SHIP POWER PLANTS

Far East branch office of Russian Maritime Register of Shipping (Far East branch office of RMRS)

29a, Stanyukovicha St., Vladivostok, 690990, Russia

Maritime State University named after admiral G.I.Nevelskoi (MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia

Igor' I. Kuleshov (Surveyor of, Far East branch office of RMRS)

Vladimir M. Khodakovskii (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

ABSTRACT: This article discusses the mathematical planning of the technological process of the strain hardening of cast iron parts, previously subjected to laser processing. Based on experimental data a mathematical model of the process was built as a full factorial experiment.

Keywords: numerical modeling, strain hardening, cast iron, laser hardening, factorial experiment

Рассмотрено математическое планирование технологического процесса деформационного упрочнения чугуных деталей, предварительно подвергшихся лазерной обработке. На основе экспериментальных данных построена математическая модель процесса в виде полного факторного эксперимента.

Важными аспектами для повышения надёжности чугуных деталей судовых энергетических установок (СЭУ) являются: снижение коэффициента трения, улучшение сопротивления изнашиванию и т.д.

Создание на поверхности детали слоёв с особыми свойствами становится возможным за счёт изменения либо структуры, либо химического состава поверхности детали [1].

Современными и перспективными методами поверхностного упрочнения чугуных деталей являются: поверхностная закалка [2-6], поверхностно-пластическое деформирование (ППД) [7].

Следует отметить, что методы поверхностной закалки относятся к наиболее длительным ввиду превращения феррита в аустенит у серых чугунов с феррито-перлитной структурой. Также данный метод ограничивается деталями с толщинами более 30 мм ввиду возможности их коробления вследствие термических напряжений. Лазерное упрочнение возможно проводить как без оплавления поверхности, так и с оплавлением. Возможность применения того или иного вида лазерного упрочнения также зависит от толщины детали. При лазерном упрочнении с оплавлением глубина зоны лазерного воздействия (ЗЛВ) может достигать 1-2 мм. При этом оптимальная толщина детали, не вызывающая существенных её деформаций при данном виде обработки, составляет от 4-5 мм и более. При упрочнении без оплавления оптимальная глубина ЗЛВ достигает 0,3 мм. При этом каких-либо деформаций вследствие термических напряжений не возникает. Также следует отметить, что данный метод характеризуется минимальными временными затратами.

Методы упрочнения ППД характеризуются значительными величинами глубины упрочнённого слоя (до 7 мм), а также большей технологичностью в сравнении с методами поверхностной закалки. Существенным недостатком данных методов является склонность зо-

ны упрочнения к релаксации при определённых температурных режимах [8].

Наиболее перспективным методом упрочнения чугунных деталей СЭУ из вышеперечисленных является лазерной упрочнение с оплавлением поверхности. Однако данный метод характеризуется большим количеством остаточного аустенита в зоне оплавления (30-50%), микротвёрдость которого колеблется в пределах от 500 до 600 HV, а микротвёрдость остальной упрочнённой зоны в зависимости от микроструктуры варьируется в пределах от 600 до 800 HV [9]. Наличие в ЗЛВ большого количества аустенита даёт возможность произвести дальнейшее упрочнение данной поверхности. Интерес представляют методы упрочнения пластической деформацией с образованием так называемой «белой» фазы, характеризующейся повышенной твёрдостью [9, 10].

В связи с тем, что проведение практического исследования является трудозатратным процессом, а диапазон регулирования технологических режимов достаточно обширен, то для снижения трудоёмкости процесса и выявления предпочтительных режимов целесообразно применить математическое планирование эксперимента.

Целью данной работы является составление математической модели технологического процесса деформационного упрочнения зоны лазерной обработки чугунных деталей СЭУ в виде полного факторного эксперимента (ПФЭ).

Лазерное упрочнение с оплавлением производилось на установке «Комета-2» на следующих режимах:

- мощность излучения 1,2 кВт;
- диаметр луча 4 мм;
- скорость перемещения луча 0,02 м/с.

Пластическое деформирование выполнялось по схеме «диск-колодка» (трение скольжения) и проводилось на универсальной машине трения с высокотемпературной камерой. Регулировка параметров производилась на преобразователе частоты вращения с управлением вектора потока EI-9011.

На основании анализа технологии, а также результатов предварительных экспериментальных данных было установлено, что на микротвёрдость «белой» фазы оказывают влияние следующие факторы:

- нагрузка F , Н/мм²;
- скорость обработки контртелом V , м/с.

В качестве исходного образца использовался образец прямоугольного сечения, размеры которого составляют 10×10×30 мм. Материал образца – серый чугун СЧ30, ГОСТ 1412-85. В качестве контртела использовался диск диаметром 42 мм, шириной 10 мм. Образец выполнен из стали 45 ГОСТ 1050-88.

Факторы, их уровни и интервалы варьирования, выбранные на основании априорной информации и предварительных экспериментов, приведены в таблице 1. Результаты эксперимента приведены в таблице 2. Обработка результатов эксперимента проводилась для равномерного дублирования опытов.

Таблица 1 – Факторы, уровни и интервалы варьирования

Фактор		Нагрузка F , Н/мм ²		Скорость обработки контртелом V , м/с	
Кодовое обозначение		x_1		x_2	
	Вариант	1	2	1	2
Уровни факторов	+1	29,5	24,5	0,1	0,3
	0	24,5	19,5	0,3	0,5
	-1	19,5	14,5	0,5	0,7
Интервал варьирования		5		0,2	

По данным параллельных опытов проводился расчёт построчных дисперсий и проверялась гипотеза однородности дисперсий по критерию Кохрена. Поскольку выполнялось условие

$$G_{\text{табл}} = 0,6798 > G_{\text{расч}} = 0,49; 0,486,$$

то ряд дисперсий считался однородным.

Рассчитывались коэффициенты регрессии, и проверялась их значимость на основании сравнения с доверительным интервалом. В данном случае линейные коэффициенты b_0 , b_1 ,

b_2 считаются статистически значимыми. Коэффициент парного взаимодействия b_{12} статистически незначим, поэтому из математической модели исключен.

Таблица 2 – Результаты измерения микротвёрдости «белой» фазы

Номер опыта				1	2	3	4
Матрица планирования	x_1			+	–	+	–
	x_2			+	+	–	–
Микротвёрдость «белой» фазы, HV	y_1	Вариант	1	765	870	987	1054
			2	722	837	896	1010
	y_2		1	715	842	915	1008
			2	701	865	908	984

Исходя из выше изложенного, в результате ПФЭ 22 для исследуемого чугуна были получены уравнения регрессии для глубины ЗЛВ в кодированном виде

$$y_1 = 894,5 - 49x_1 - 96,5x_2; \quad (1)$$

$$y_2 = 864,125 - 57,375x_1 - 82,875x_2. \quad (2)$$

Адекватность модели проверялась по критерию Фишера. При уровне значимости $\alpha = 0,05$ табличное значение критерия Фишера $F_{табл} = 3,84$. Поскольку

$$F_{табл} > F_{расч} = 0,49; 3,678,$$

то модель считается адекватной.

Ввиду адекватности линейных частей полиномов микротвёрдость «белой» фазы для каждого варианта исследования можно аппроксимировать уравнениями степенного вида с достаточной точностью. В результате перехода от кодированных значений к натуральным по формулам для случая, когда нагрузка изменяется от 19,5 до 29,5 Н/мм²

$$x_1 = \frac{F - 24,5}{5}; x_2 = \frac{V - 0,3}{0,2},$$

$$\text{получили} \quad HV_1 = 1279,35 - 9,8F - 482,5V, \quad (3)$$

а когда нагрузка изменяется от 14,5 до 24,5 Н/мм²

$$x_1 = \frac{F - 19,5}{5}; x_2 = \frac{V - 0,5}{0,2},$$

$$\text{получили} \quad HV_2 = 1295,075 - 11,475F - 414,375V. \quad (4)$$

В результате выполненного настоящего исследования установлено следующее:

- ввиду большого количества остаточного аустенита в ЗЛВ является возможным введение дополнительной операции с целью повышения эффективности лазерного упрочнения;
- наиболее технологичной является операция деформационного упрочнения с образованием на поверхности ЗЛВ «белой» фазы;
- получены выражения (3) и (4), позволяющие определить микротвёрдость «белой» фазы в зависимости от приведённых факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гончаров, В.Г. Математическое планирование оптимизации коэффициента трения при дискретном упрочнении элементов трибосистем / В.Г. Гончаров // -Вестн. Харьк. нац. автом.-дор. унив. - 2005. -№30. -С.36-38.
- 2 Лахтин, Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин. -М.: Металлургия, 1983. -447 с.
- 3 Полевой, С.Н. Упрочнение машиностроительных материалов / С.Н. Полевой, В.Д.Евдокимов. -М.: Машиностроение, 1994. -242 с.
- 4 Матвеев, Ю.И. Формирование структур серого чугуна в зоне лазерного воздействия / Ю.И. Матвеев, С.С. Казаков // -Вестник НГИЭИ. -2011. -Т.2. -№1(2). -С. 41-53.
- 5 Ходаковский, В.М. Исследование влияния режима лазерной обработки на глубину и структуру упрочнённой зоны чугуновых деталей судовых ДВС / В.М. Ходаковский, Е.П. Патенкова, И.И. Кулешов // -Вестн. мор. гос. унив. -2016. -№74. -С. 28-36.

REFERENCES

- 1 Goncharov V.G. Mathematical design of the optimization of friction coefficient for the elements of tribosystems discrete strengthening [Математическое планирование оптимизации коэффициента трения при дискретном упрочнении элементов трибосистем]. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University [Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta]*. 2005. No. 30. pp.36-38.
- 2 Lakhtin Yu.M. Metallurgy and heat treatment of metals [Металловедение и термическая обработка металлов]. Moscow. Metallurgiya Publ. 1983. 447 p
- 3 Polevoi S.N., Evdokimov V.D. Strengthening of machine industry materials [Упрочнение машиностроительных материалов]. Moscow. Mashinostroyeniye Publ. 1994. 242 p.
- 4 Matveev Yu.I., Kazakov S.S. Formation of gray iron structures in the laser impact zone [Формирование структур серого чугуна в зоне лазерного воздействия]. *Bulletin NGII [Vestnik NGIEI]*. 2011. Vol. 2. o. 1(2). pp. 41-53.
- 5 Khodakovskii V.M., Patenkova E.P., Kuleshov I.I. Investigation of laser treatment effect regime on the depth and structure of hardened zone of cast iron components of marine engines [Исследование влияния режима лазерной обработки на глубину и структуру упрочнённой зоны чугуновых деталей судовых ДВС]. *Maritime state university reporter [Vestnik Morskogo gosudarstvennogo universiteta]*. 2016. No. 74. pp. 28-36.

6 Кулешов, И.И. Повышение работоспособности поршневых канавок головок поршней судовых малооборотных двигателей / И.И. Кулешов, В.М. Ходаковский // -Вестн. гос. ун-в. мор. и речн. флота им. адм. С.О. Макарова. -2016. -№6(40). -С. 155-168.

7 Отеней, Я.Н. Особенности формирования глубины упрочнения при обработке деталей поверхностным пластическим деформированием / Я.Н. Отеней, С.Н. Ольштынский // -Изв. Волгоград. гос. техн. ун-в. -2007. -Т.1. -№3(29). -С. 79-82.

8 Радченко, В.П. Ползучесть и релаксация остаточных напряжений в упрочнённых конструкциях / В.П. Радченко, М.Н. Саушкин. -М.: Машиностроение, 2005. -226 с.

9 Кулешов, И.И. Повышение эффективности лазерного упрочнения чугуновых деталей судовых энергетических установок / И.И. Кулешов, В.М. Ходаковский // -Вестн. гос. ун-в. мор. и речн. флота им. адм. С.О. Макарова. -2017. -Т.9. -№4. -С. 814-828. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-814-828.

10 Васильев, М.А. Нанокристаллизация металлических поверхностей методами интенсивной пластической деформации / М.А. Васильев, Г.И. Прокопенко, В.С. Филатова // -Успехи физ. мет. -2004. -Т.5. -С. 345-399.

6 Kuleshov I.I., Khodakovskii V.M. Increasing piston grooves durability in low speed marine engines [Povyshenie rabotosposobnosti porshnevykh kanavok golovok porshnei sudovykh malooborotnykh dvigatelei]. *Admiral Makarov state university of maritime and inland shipping reporter [Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S.O. Makarova]*. 2016. No. 6(40). pp. 155-168.

7 Otenii Ya.N., Ol'shtynskii S.N. Features of forming the hardening depth when processing parts by surface plastic deformation [Osobennosti formirovaniya glubiny uprochneniya pri obrabotke detalei poverkhnostnym plasticheskim deformirovaniem]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2007. Vol.1. No. 3(29). pp. 79-82.

8 Radchenko V.P., Saushkin M.N. Residual stresses creep and relaxation in hardened structures [Polzuchest' i relaksatsiya ostatochnykh napryazhenii v uprochnennykh konstruktivnykh]. Moscow. Mashinostroenie Publ. 2005. 226 p.

9 Kuleshov I.I., Khodakovskii V.M. Increasing the efficiency of laser hardening of cast iron of marine power plants components [Povyshenie effektivnosti lazernogo uprochneniya chugunnykh detalei sudovykh energeticheskikh ustanovok]. *Admiral Makarov state university of maritime and inland shipping reporter [Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S.O. Makarova]*. 2017. Vol. 9. No. 4. pp.814-828. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-814-828

10 Vasil'ev M.A., Prokopenko G.I., Filatova V.S. Nanocrystallization of metal surfaces by the methods of intense plastic deformation [Nanokristallizatsiya metallicheskih poverkhnostei metodami intensivnoi plasticheskoi deformatsii]. *Progress in physics of metals*. 2004. Vol. 5. pp. 345-399.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

численное моделирование, деформационное упрочнение, чугун, лазерное упрочнение, факторный эксперимент

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Кулешов Игорь Игоревич, инженер-инспектор Дальневосточный филиал ФАУ «РМРС» Ходаковский Владимир Михайлович, канд. техн. наук, доцент МГУ им. адм. Г.И. Невельского 690990, г.Владивосток, ул.Станюковича, 29а, Дальневосточный филиал ФАУ «РМРС» 690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, МГУ им. адм. Г.И. Невельского

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет экономики и управления»

П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF VIBRATION PROTECTION SYSTEMS WITH INCREASING LIQUID PRESSURE

Novosibirsk State University of Economics and Management (NSUEM) 52/1, Kamenskaya St., Novosibirsk, 630099, Russia

Pavel A. Fomichev (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of NSUEM)

Elena V. Fomicheva (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of NSUEM)

ABSTRACT: Authors discuss the possibility of expanding the field of application of vibration-proof mounts of a new type with an increase of liquid pressure in the system up to 32 MPa.

Keywords: vibration isolation of vehicles and machinery

Представлены результаты исследования возможности расширения области применения виброизолирующих опор нового типа при увеличении давления жидкости в системе до 32 МПа.

В настоящее время уровень развития техники предъявляет все более высокие требования к параметрам работы виброзащитных систем. В частности, для судовых энергетических установок требуются виброзащитные системы, работающие при давлении рабочей жидкости не менее 32 МПа и обеспечивающие высокое быстродействие и малые энергетические потери [1].

Увеличение рабочего давления в гидравлической части электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоры (ЭГВО) [2] вызывает увеличение силового воздействия на подвижную рамку со стороны рабочей жидкости. Следовательно, необходимо проверить обеспечение усталостной прочности и устойчивости подвижной рамки опоры.

Был произведен расчет коэффициента запаса усталостной прочности $n = 2,1$ и коэффициента запаса продольной устойчивости $n_{\text{ycm}} = 1,8$ для виброопоры, работающей при давлении 17 МПа [3]. В результате расчета тех же параметров при давлении 32 МПа было полу-

чено $n = 2,1$; $n_{ycm} = 1,0$, то есть усталостная прочность опоры обеспечивается, а продольная устойчивость подвижной рамки не гарантируется.

С другой стороны, чтобы оценить экономичность ЭГВО, можно определить объем непроизводительных утечек при увеличении давления рабочей жидкости в гидравлической части опоры до 32 МПа.

Изменение утечек в гидравлической части опоры можно оценить с помощью выражения для расхода рабочей жидкости через зазор между двумя круглыми пластинами [4]

$$Q_{yT} = \frac{\pi(\delta + \delta_{OTK})^3(p_n - p_{cn})}{6\mu \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}, \quad (1)$$

где δ – зазор между подвижной рамкой и основанием опоры;

δ_{OTK} – увеличение зазора из-за отжимающего действия подводимой жидкости;

p_n – давление подводимой жидкости;

p_{cn} – давление сливной жидкости;

μ – коэффициент динамической вязкости рабочей жидкости;

d_1, d_2 – диаметры внутренней и внешней части опоры.

Относительное изменение утечки можно определить как

$$r = \frac{Q_{yT}}{Q_{yT0}}, \quad (2)$$

где Q_{yT0} – утечки рабочей жидкости при базовом давлении 17 МПа.

Подставив (1) в (2) получим

$$r = \left(\frac{\delta + \delta_{OTK}}{\delta + \delta_{OTK0}} \right)^3 \frac{p_n}{p_{n0}}, \quad (3)$$

где нижний индекс «0» показывает значения соответствующих характеристик при базовом давлении 17 МПа.

При нулевом положении подвижной рамки размер δ_{OTK} можно определить достаточно точно, рассматривая ножки подвижной рамки как балки, работающие на сжатие [5]

$$\delta_{OTK} = \frac{\pi(p_n - p_{cn})(d_1^2 + d_2^2)\ell_1}{8Eh_b}, \quad (4)$$

где E – модуль упругости стали, $E = 200$ ГПа

Подставляя значения, найденные по формуле (4) для давлений $p_{n0} = 17$ МПа и $p_n = 32$ МПа определяем $\delta = 10$ мкм, $\delta_{OTK0} = 1,1$ мкм, $\delta_{OTK} = 2,0$ мкм. Затем по формуле (2) находим

$$r = \left(\frac{1,0 + 2,0}{1,0 + 1,1} \right)^3 \frac{32}{17} = 2,4. \quad (5)$$

Следовательно, при повышении давления рабочей жидкости в гидравлической части опоры при сохранении всех размеров конструкции утечки возрастают в 2,4 раза.

Если предположить, что точность изготовления всех деталей ЭГВО при переходе на давление 32 МПа останется неизменной, то такие параметры как нелинейность, несимметричность и зона нечувствительности сохраняют прежние значения.

Следовательно, на основании проведенного исследования можно заключить, что увеличение давления рабочей жидкости в гидравлической части опоры с 17 МПа до 32 МПа приведет к нарушению работоспособности базовой конструкции ЭГВО, а также к значительному увеличению потерь энергии в связи с возрастанием непроизводительных утечек.

Для обеспечения работоспособности и снижения потерь энергии можно изменить размеры базовой конструкции ЭГВО [6].

Увеличив жесткость подвижной рамки ЭГВО, можно повысить предельную устойчивость ее подвижной рамки. Но увеличение жесткости приводит к увеличению момента, развиваемого электромагнитной составляющей ЭГВО для ее перемещения. Неоправданное увеличение этого момента ухудшает его динамические характеристики [7], что в итоге отрицательно сказывается на динамических характеристиках ЭГВО в целом. В связи с этим необ-

ходимо исследование влияния основных размеров подвижной рамки ЭГВО на ее жесткость и продольную устойчивость.

При рассмотрении степени влияния конструктивных параметров на утечки жидкости, можно сделать вывод, что любое изменение параметров гидравлической части ЭГВО приводит к увеличению жесткости подвижной рамки, а также снижает нелинейность и несимметричность опоры, что крайне нежелательно.

Исходя из вышесказанного, была поставлена оптимизационная задача: определить размеры подвижной рамки ЭГВО, обеспечивающие усталостную прочность и продольную устойчивость при минимальных значениях жесткости подвижной рамки и объема непроизводительных утечек

$$C_0 = f_1(h_1, \ell_1, \ell_2, b) \rightarrow \min;$$

$$r = \frac{Q_{YT}}{Q_{YT0}} = \frac{f(h_1, \ell_1, d_2, b)}{Q_{YT0}} \rightarrow \min, \quad (6)$$

при ограничениях:

$$n = g_1(h_1, \ell_1, \ell_2, b, d_2) \geq n_{\min} = 1,2; n_{ycm} = g_2(h_1, \ell_1, \ell_2, b, d_2) \geq n_{\min}^{ycm} = 1,2; 0,15 \leq h_1 \leq 0,35;$$

$$2 \leq l_1 \leq 5; 3 \leq b \leq 9; 2,7 \leq d_2 \leq 5; \ell_2 = 13 - 2\ell_1,$$

все размеры приведены в миллиметрах [8].

Результат решения поставленной задачи представлен на рисунке, где показана область решений, в которой каждой точке соответствует свое сочетание параметров.

По оси абсцисс отложено относительное изменение утечки, рассчитанное в соответствии с (3), которое показывает, во сколько раз изменится утечка, если рассматриваемая конструкция работает при давлении 32 МПа, по отношению к утечке, возникающей в базовой конструкции при работе при давлении 17 МПа.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что существует возможность или значительно понизить жесткость подвижной рамки ЭГВО, или существенно ограничить увеличение непроизводительной утечки при повышении давления рабочей жидкости в гидравлической части опоры с 17 МПа до 32 МПа. Однако невозможно одновременно значительно снизить значения жесткости подвижной рамки и непроизводительные утечки. Поэтому для выбора точки оптимального решения необходимо определить значимость характеристик.

Если необходимо значительное снижение жесткости, то наиболее оптимальной является точка А. Если нужно обеспечить минимальные утечки при условии, что жесткость упругих элементов не возрастет по сравнению с базовой конструкцией, то в этом случае оптимальной является точка Б.

Параметры, соответствующие точкам А и Б приведены в таблице, также для сравнения представлены параметры базовой конструкции [6, 9].

Таблица – Таблица параметров ЭГВО

Обозначение	Вариант 1 (точка А)	Вариант 2 (точка Б)	Параметры базовой конструкции
h_1 , мм	0,19	0,21	0,2
h_2 , мм	3,5	3,5	3,5
h_3 , мм	3,5	3,5	3,5
h_4 , мм	3,5	3,5	3,5
ℓ_1 , мм	2	2	3

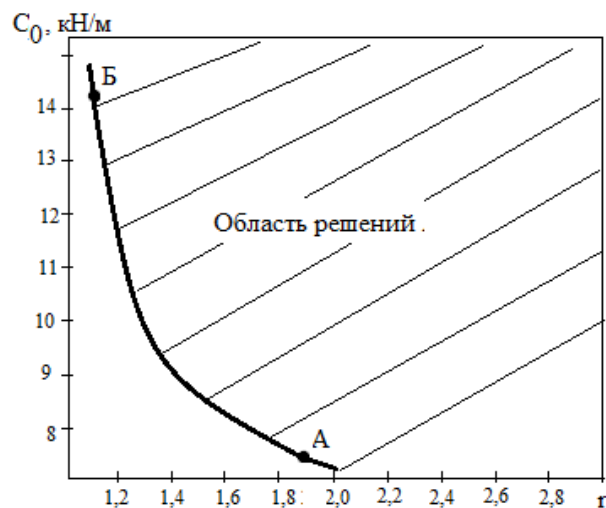


Рисунок – Результаты решения оптимизационной задачи

Продолжение таблицы

Обозначение	Вариант 1 (точка А)	Вариант 2 (точка Б)	Параметры базовой конструкции
ℓ_2 , мм	9	9	3
ℓ_3 , мм	13	13	13
b , мм	7,6	8,8	6
d_1 , мм	1,9	1,9	1,9
d_2 , мм	2,7	3,8	2,7
δ , мм	0,01 (при $p_0 = 32$ МПа)	0,01 (при $p_0 = 32$ МПа)	0,01 (при $p_0 = 17$ МПа)
n_{ycm} , мм	1,2 (при $p_0 = 32$ МПа)	1,2 (при $p_0 = 32$ МПа)	1,8 (при $p_0 = 17$ МПа)
C_0 , кН/м	8,4	13,8	14,1
r , мм	1,9	1,1	1,0

По результатам исследования можно сделать вывод: благодаря оптимизации размеров базовой конструкции можно значительно снизить жесткость (от 14,1 до 8,4 кН/м) подвижной рамки или же ограничить увеличение непроизводительной утечки (не более 10%) при повышении давления рабочей жидкости в гидравлической части опоры до 32 МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Фомичев, П.А. Виброизолирующие гидравлические опоры нового поколения / С.П. Глушков, П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2005. -190 с.

2 Фомичев, П.А. Расчет статического тягового усилия электромагнитов в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоры / П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. - 2009. -№2. -С. 183-185.

3 Фомичева, Е.В. Математическая модель расчета надежности системы виброизоляции / Е.В. Фомичева, П.А. Фомичев/ Актуальные проблемы развития современной науки и образования: сб. научн. тр. по материалам межд. научн.-практ. конф. (30 апр. 2015 г.). -М.: АР-Консалт, 2015. -Ч.III. -С. 133-134.

4 Фомичев, П.А. Анализ причин, влияющих на надежность гидравлических виброизолирующих опор нового типа / П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2015. -№1. -С. 126-129.

5 Фомичев, П.А. Критерий качества параметрической оптимизации виброизолирующих опор / П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2013. -№2. -С. 167-169.

6 Пат. 2262623 Российская Федерация. МПК F 16 F 6/00. Электромагнитная гидравлическая виброизолирующая опора / Фомичев П.А., Фомичева Е.В., Глушков С.П. - 2004106223/11; заявл. 02.03.2004; опубл. 20.10.2005, Бюл. №29. -6 с.

7 Фомичев, П.А. Расчет надежности пневмогидравлической виброизолирующей опоры / П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева / -Речной транспорт (XXI век). -2006. -№4. -С. 47-49.

8 Фомичев, П.А. Исследование эффективности активных виброзащитных систем / П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева / Научный вестник НГТУ. -2005. -№2. -С. 111-122.

9 Фомичев, П.А. Качественные характеристики пневмогидравлической виброизолирующей опоры / П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева / -Двигателестроение. -2005. -№1. -С. 21-23.

1 Glushkov S.P., Fomichev P.A., Fomicheva E.V. Vibration isolating hydraulic mounts of new generation [Vibroizoliruyushchie gidravlicheskie opory novogo pokoleniya]. Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. Publ. 2005. 190 p.

2 Fomichev P.A., Fomicheva E.V. Calculation of the static pull force of electromagnets in electromagnetic vibration isolating hydraulic mount [Расчет статического тягового усилия электромагнитов в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре]. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2009. No. 2. pp. 183-185.

3 Fomicheva E.V., Fomichev P.A. Mathematical model for calculating the reliability of a vibration isolation system [Matematicheskaya model' rascheta nadezhnosti sistemy vibrozolyatsii]. Modern science and education development [Aktual'nye problemy razvitiya sovremennoi nauki i obrazovaniya]. Moscow. AR-Konsalt Publ. 2015. -Vol. III. pp. 133-134.

4 Fomichev P.A., Fomicheva E.V. Analysis of the causes that affect the reliability of new type vibration isolating hydraulic mounts [Analiz prichin, vliyayushchikh na nadezhnost' gidravlicheskhkh vibroizoliruyushchikh opor novogo tipa]. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2015. No. 1. pp. 126-129.

5 Fomichev P.A., Fomicheva E.V. Criterion of parametric optimization quality of vibration isolating mounts [Kriterii kachestva parametricheskoi optimizatsii vibroizoliruyushchikh opor]. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2013. No. 2. pp. 167-169.

6 Fomichev P.A., Fomicheva E.V., Glushkov S.P. Electromagnetic hydraulic vibration isolating mount [Elektromagnitnaya gidravlicheskaya vibroizoliruyushchaya opora]. Izobreteniya Poleznye modeli. Oct. 26, 2005. No. 29, 6 p.

7 Fomichev P.A., Fomicheva E.V. Pneumohydraulic vibration isolating mount reliability calculation [Расчет надежности пневмогидравлической виброизолiruyushchei opory]. Rechnoi transport (XXI vek). 2006. No. 4. pp. 47-49.

8 Fomichev P.A., Fomicheva E.V. Investigation of effectiveness of active vibration protection systems [Issledovanie effektivnosti aktivnykh vibrozashchitnykh system]. Science bulletin of NSTU [Nauchnyi vestnik NGTU]. 2005. No. 2. pp. 111-122.

9 Fomichev P.A., Fomicheva E.V. Pneumohydraulic vibration isolating mount quality indicators [Kachestvennye kharakteristiki pnevmogidravlicheskoj vibroizoliruyushchei opory]. Dvigatelistroenie. 2005. No. 1. pp. 21-23.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

виброизоляция машин и механизмов

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Фомичев Павел Аркадьевич, канд. техн. наук, доцент НГУЭУ
Фомичева Елена Валерьевна, канд. техн. наук, доцент НГУЭУ
630099, г.Новосибирск, ул.Каменская, 56, НГУЭУ

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630099, г.Новосибирск, ул.Каменская, 56, НГУЭУ

СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ И МЕХАНИЗМОВ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

С.Н. Иванчик, И.С. Иванчик

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM AS A TOOL OF INCREASING THE RELIABILITY OF PARTS AND MACHINERY

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Sergei N. Ivanchik (Senior Lecturer of SSUWT)

Il'ya S. Ivanchik (Lab Instructor of SSUWT)

ABSTRACT: Modern quality management system requires analysis and prevention of causes of disintegration and premature wear of machinery parts to ensure the reliability of ship equipment.

Keywords: quality management system, reliability, durability

Современная система менеджмента качества для обеспечения надёжности судовой техники требует анализа и предупреждения причин аварийного разрушения и преждевременного изнашивания деталей судовых машин.

Последовательность этапов жизненного цикла продукции машиностроения и возникающие на этих этапах возможные факторы нарушения нормального цикла показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Возможные причины отказов деталей судовой техники

Основные причины отказа деталей судовой техники отображены на структурной диаграмме (рисунок 2).

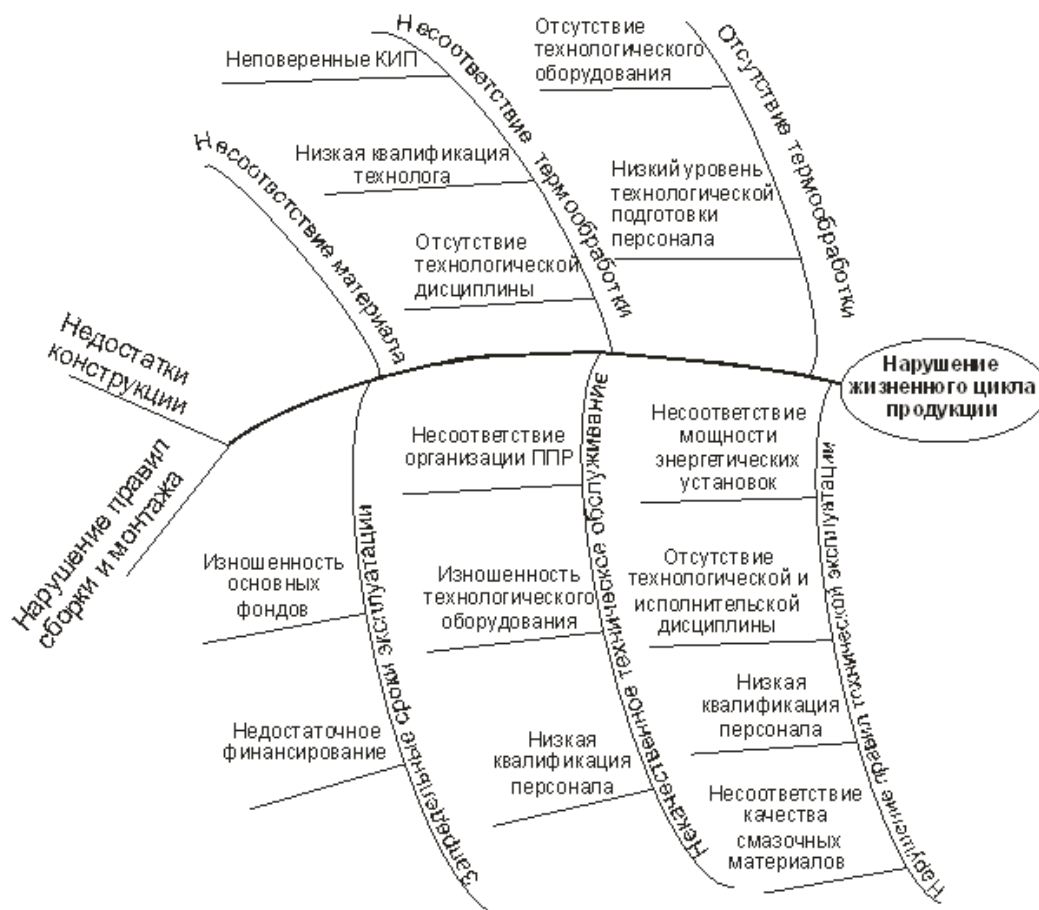


Рисунок 2 – Основные причины снижения надёжности судовой техники

Случается, что причины аварийного выхода детали машин из строя могут быть заложены ещё при проектировании механизма, однако, вероятность разрушения деталей машин вследствие недостатков конструкции, не превышает 3%. Приблизительно такую же долю снижения надёжности продукции машиностроения, как показывает анализ оригинальной технологической документации, вносят ошибки при разработке технологии изготовления деталей машиностроения.

Как правило, недостатки конструкции и технологии усугубляются одновременным действием других неблагоприятных факторов, в частности превышением срока допустимой эксплуатации, что в настоящее время имеет место на большинстве отечественных предприятий, а также превышением допустимых нагрузок, эксплуатацией в экстремальных условиях, нарушением правил технической эксплуатации и т.п.

Результаты статистической обработки, соотношение числа выявленных причин отказов представлены диаграммой на рисунке 3.

Весьма существенную долю в вероятность отказов машин и механизмов вносят нарушения технологической дисциплины при их изготовлении. Среди причин разрушения можно выделить следующие:

- несоответствие материалов;
- отсутствие термического упрочнения;
- заниженная твёрдость;
- обезуглероживание поверхности при закалке с нагревом без использования защитной атмосферы печи;
- цементитная сетка, созданная при химико-термической обработке.

Следует отметить, что указанные причины, связанные с низкой технологической дисциплиной, возникают зачастую не на ведущих заводах – изготовителях судовой техники, а вносятся при планово-предупредительном ремонте, выполненном неквалифицированно на мелких ремонтно-эксплуатационных базах, в ремонтных мастерских, а также в ходе аварийного восстановления механизмов. Эти же ремонтные предприятия являются и виновниками

нарушений правил сборки и монтажа механизмов и конструкций.

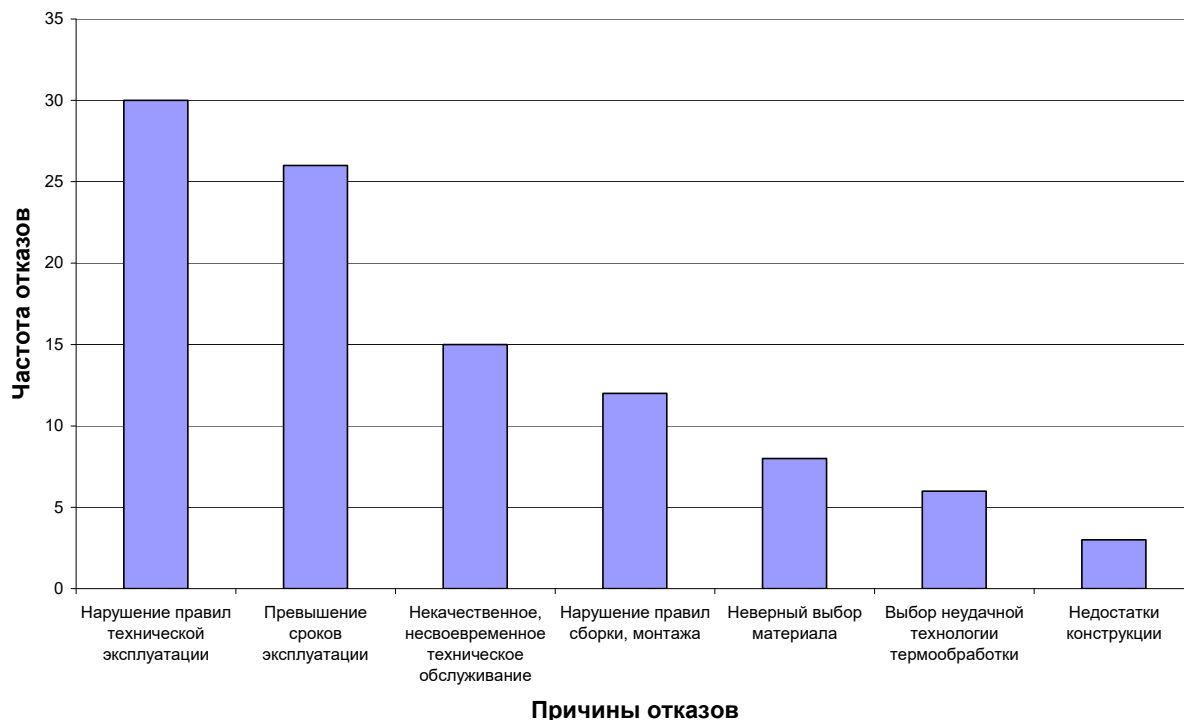


Рисунок 3 – Соотношение причин аварий и преждевременного выхода из строя деталей судовой техники

Серьёзным фактором снижения надёжности и долговечности механизмов являются разнообразные нарушения правил технической эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Возницкий, И.В. Повреждения и поломки дизелей. Примеры и анализ причин / И.В. Возницкий. -СПб.:Моркнига, 2006. -116 с.
- 2 Дубов, А.А. Метод магнитной памяти металла и приборы контроля: учебное пособие / А.А. Дубов, Ал.А. Дубов, С.М. Колокольников. -М.: Тиссо, 2006. -332 с.
- 3 Егоров, В.Г. Средства измерений и контроля геометрических величин: справочное пособие / В.Г. Егоров. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2012. -68 с.
- 4 Калугин, В.Н. Анализ отказов и повреждений судовых технических средств: учебное пособие / В.Н. Калугин, И.В. Логишев. -Одесса: Изд-во Одесская мор. акад., 2009. -71 с.
- 5 Колчков, В.И. Метрология, стандартизация и сертификация / В.И. Колчков. -М.: Изд-во ВЛАДОС, 2010. -398 с.
- 6 Ключев, В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / В.В. Ключев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалёв. -М.: Машиностроение, 2003. -656 с.
- 7 Малинина, Р.И. Практическая металлография / Р.И. Малинина, Е.С. Малютин, В.Ю. Новиков др. -М.: Интернет Инжиниринг, 2002. -233 с.
- 8 Худяков, С.А. Повреждения и отказы судовых технических средств: учеб. пособие / А.В. Струтинский, С.А. Худяков. -Владивосток: Изд-во Мор. гос. ун-в., 2012. -150 с.
- 9 Ясенков, Е.П. Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие / Е.П. Ясенков. -Братск: Изд-во Братск. гос. техн. ун-в., 2003. -136 с.

REFERENCES

- 1 Voznitskii I.V. Damage and breakdown of diesels. Case studies and failure investigation [Povrezhdeniya i polomki dizelei. Primery i analiz prichin]. St. Petersburg: Morkniga Publ., 2006. 116 p.
- 2 Dubov A.A., Dubov A.I., Kolokol'nikov S.M. Magnetic memory method and control devices [Metod magnitnoi pamyati metalla i pribory kontrolya]. Moscow: Tisso Publ., 2006. 332 p.
- 3 Egorov V.G. Geometric quantities measurement and control tools [Sredstva izmerenii i kontrolya geometricheskikh velichin]. Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. Publ., 2012. 68 p.
- 4 Kalugin V.N., Logishev I.V. Investigation of failure and damage of ship technical facilities [Analiz otkazov i povrezhdenii sudovykh tekhnicheskikh sredstv]. Odessa: Odessa Maritime Acad. Publ., 2009. 71 p.
- 5 Kolchikov V.I. Metrology, standardization and certification [Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya]. Moscow: VLADOS Publ., 2010. 398 p.
- 6 Klyuev V.V., Sosnin F.R., Kovalev A.V. Non-destructive testing and diagnostics [Nerazrushayushchii kontrol' i diagnostika]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2003. 656 p.
- 7 Malinina R.I. Practical metallography [Prakticheskaya metallografiya]. Moscow: Internet Inzhiniring Publ., 2002. 233 p.
- 8 Khudyakov S.A., Strutynskii A.V. Damages and failures of ship technical facilities [Povrezhdeniya i otkazy sudovykh tekhnicheskikh sredstv]. Vladivostok: Maritime St. Univ. Publ., 2012. 150 p.
- 9 Yasenkov E.P. Metrology, standardization and certification [Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya]. -Bratsk: Bratsk St. Tech. Univ., 2003. 136 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

система менеджмента качества, надёжность, долговечность

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Иванчик Сергей Николаевич, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Иванчик Илья Сергеевич, учебный мастер ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СВС-ФИЛЬТРОВ КАТАЛИТИЧЕСКИХ НЕЙТРАЛИЗАТОРОВ

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Г.В. Медведев

FEATURES OF DETERMINATION OF NATURAL FREQUENCY OF SHS FILTERS OF CATALYTIC CONVERTERS

Polzunov Altay State Technical University (AltSTU) 46, Lenina Ave., Barnaul, 656038, Russia

Gennadii V. Medvedev (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of AltSTU)

ABSTRACT: The article considers problems of determining the natural frequencies of porous permeable SHS-catalytic cylindrical filters of catalytic converters filled with exhaust gases of a diesel engine.

Keywords: diesel engine exhaust gases, natural frequency, catalytic converter, porous SHS filter

Рассмотрены вопросы об определении частот собственных колебаний пористых проницаемых СВС-каталитических цилиндрических фильтров каталитических нейтрализаторов, заполненных отработавшими газами дизеля.

Каталитические нейтрализаторы представляют собой пористые проницаемые фильтрующие элементы, используемые для очистки отработавших газов судовых дизелей, можно считать сложными техническими системами по следующим причинам: они имеют большое количество составляющих частей связанных функционально, требуют систем управления, виброизоляции, имеют множество происходящих в них физических и химических процессов.

Фильтрующие элементы работают в условиях различных по амплитудам и частотным параметрам колебательных процессов, что предопределяет высокий уровень динамических напряжений, возникающих в материалах пористых проницающих каталитических фильтров нейтрализаторов и влияет на их вибростойкость, надежность и долговечность. Их эксплуатация осуществляется в сложных технических условиях, повышенной вибрации и температурного воздействия.

В результате приложения внутренних нагрузок при эксплуатации дизелей возникают конечные деформации упругих элементов, что при определенных условиях приводит к вибрациям с большими амплитудами или к потере устойчивости процессов динамического деформирования.

В связи с этим, возникает необходимость в определении собственных частот колебаний полого цилиндрического фильтра из пористого каталитического материала, полученного по технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) заполненного горячими отработавшими газами дизеля.

Учитывая, что в реальных условиях работы судового дизеля наблюдается сложные колебательные процессы в диапазоне от 0 до 10000 Гц и выше, необходимо не допускать возникновения резонансных явлений в пористых проницаемых материалах, в виду их возможного разрушения. При этом для каждого каталитического фильтра в зависимости от пористости материала Π , модуля упругости E , плотности ρ , массы m , геометрических размеров должна определяться частота собственных колебаний [1].

Профессорами Б.А. Глаговским и И.Б. Москоуленко [2], применительно к изделиям из керамики, при низкочастотных акустических методов контроля для полого цилиндрического образца, частоту собственных колебаний предложено определять, в зависимости от скорости распространения упругих колебаний в твердом теле C_l и согласно действующим нагрузкам возникающих в каталитическом нейтрализаторе судового дизеля 6Ч15/15 (Д20НР-250), следующим образом:

– стержневой моды изгибных колебаний:

$$f_{изз} = \frac{0,0572}{\sqrt{\bar{a} D h}} C_l, \text{ Гц}, \quad (1)$$

где C_l - скорость распространения упругих колебаний в упругом твердом теле, см/с;

$\bar{a}$ – безразмерный коэффициент стержневой моды изгибных колебаний

$$\bar{a} = 0,0402 \exp\left(0,554 \frac{h}{D}\right) - 0,0514 ;$$

D – наружный диаметр цилиндра, см;

h – высота цилиндра, см;

– дисковые моды изгибных колебаний:

$$f_1 = \frac{\aleph}{D} C_{II}, \text{ Гц}, \quad (2)$$

где $\aleph$ – безразмерный коэффициент дисковой моды изгибных колебаний

$$\aleph = -0,451 \frac{d}{D} + 0,416 ;$$

d – внутренний диаметр цилиндра, см.

Скорость распространения упругих колебаний (волн) в упругом твердом теле определяется по формуле [3]

$$C_{II} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \text{ м/с}, \quad (3)$$

где E – модуль упругости материала, Па;

ρ – плотность материала, кг/м³.

Тогда для СВС- материала каталитического фильтра на основе окислы легированной стали (для 20 образцов), в диапазонах $E = 104,8-125,5$ ГПа, пористостью $\Pi = 0,28-0,52$, плотностью $\rho = 3190,2$ кг/м³, для образца в виде полого цилиндра длиной 0,1 м, наружным диаметром 0,04 м и внутренним 0,03 м, скорость распространения продольных волн в пористом СВС-материале каталитического фильтра будет находиться в диапазоне $C_{II} = 5731,6-6272,1$ м/с.

Скорость распространения упругих колебаний (волн) в СВС-материале фильтров, определялась акустическим методом с использованием толщиномера А 1208 (датчик №155, модель 10Б, частота 10 МГц), с пропиткой глицерином при температуре 50 °С в течении суток. Расхождение измерений с теоретическими расчетами не превышала 3,9-5,0%.

Скорость звуковой волны в газе [3]

$$C_{2I} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}, \text{ м/с}, \quad (4)$$

где γ – отношение теплоемкости газа при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме, для отработавших газов дизельного топлива, как для многоатомного газа принимаем $\gamma = 4/3 = 1,333$;

R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,314$ Дж/(моль·К);

M – молярная масса отработавших газов, для дизельного топлива $M = 28,9$ г/моль;

T – температура отработавших газов дизеля, $T = 798$ К.

Скорость распространения волны в отработавших газах судового дизеля, при их температуре в 798 К, составила $C_{2I} = 553,2$ м/с.

По формуле предложенной профессором Г.И. Петкевичем [4], для дискретных непрерывных сред с неоднородностями структурного характера и в дискретных средах, состоящих из отдельных частиц в виде зерен, скорость распространения упругих продольных волн в двухкомпонентной среде можно определить

$$C_x = \frac{C_{II}}{1-\Pi} \sqrt{\frac{3\left(\frac{3-\Pi}{5+\Pi}\right)}{\left[1 + \frac{\Pi}{(1-\Pi)} \frac{\rho_2}{\rho_1}\right] \left[1,8 + \frac{\Pi}{(1-\Pi)} \frac{\rho_1}{\rho_2} \frac{C_{II}^2}{C_{2I}^2}\right]}}, \text{ м/с}, \quad (5)$$

где C_{II} – скорость распространения продольных волн в сухом пористом материале, м/с;

C_{2I} – скорость распространения продольных волн в жидкости (газе), м/с;

ρ_1 – плотность пористого материала, кг/м³;

ρ_2 – плотность жидкости, (газа), кг/м³;

Π – пористость.

Скорость распространения продольных волн в пористом СВС-материале фильтра, заполненным отработавшими газами дизельной силовой установки будет иметь величину $C_x = 15,2-18,1$ м/с.

Следовательно линейные частоты собственных колебаний будут находиться в следующих диапазонах:

- стержневая мода изгибных колебаний $f_{изг} = 41,54-49,49$ Гц;
- дисковая мода изгибных колебаний $f_1 = 29,50-35,15$ Гц.

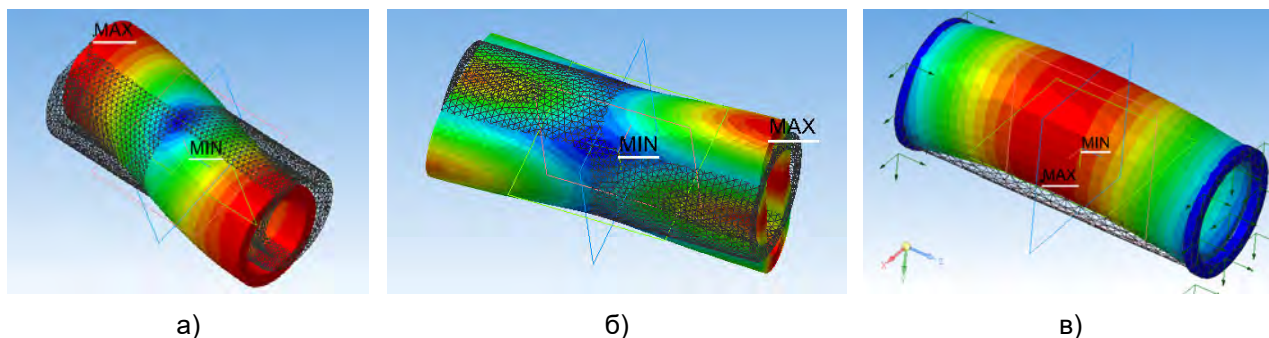


Рисунок 1 – Результаты моделирования поведения СВС-фильтра: а)-стержневая мода изгибных колебаний; б)-дисковая мода изгибных колебаний в)-крепление на упругих шайбах

При моделировании поведения каталитического фильтра в нейтрализаторе судового дизеля в программном комплексе КОМПАС-3D V16 (АРМ FEM), для определения частот собственных колебаний фильтра нейтрализатора, было получено расхождение по стержневой (рисунок 1а) и дисковой (рисунок 1б) моде изгибных колебаний в 5,9% и 7,4% соответственно.

Также было проведено моделирование поведения каталитического фильтра, в нейтрализаторе судового дизеля, закрепленного на упругих шайбах (рулонный материал из металло-керамических волокон, КАС-1А) в корпусе нейтрализатора (рисунок 1в).

В результате были получены следующие данные: при закреплении на упругих шайбах частоты собственных колебаний

фильтра находились в диапазонах 8332-8619 Гц, дополнительно при закреплении наружными бонками 9522-9558 Гц и внутренними бонками 9505-9579 Гц соответственно. На рисунке 2 показан диапазон опасных частот в поле амплитудно-частотной характеристики СВС-фильтра нейтрализатора дизеля Д20НР-250 на основе окарины легированной стали.

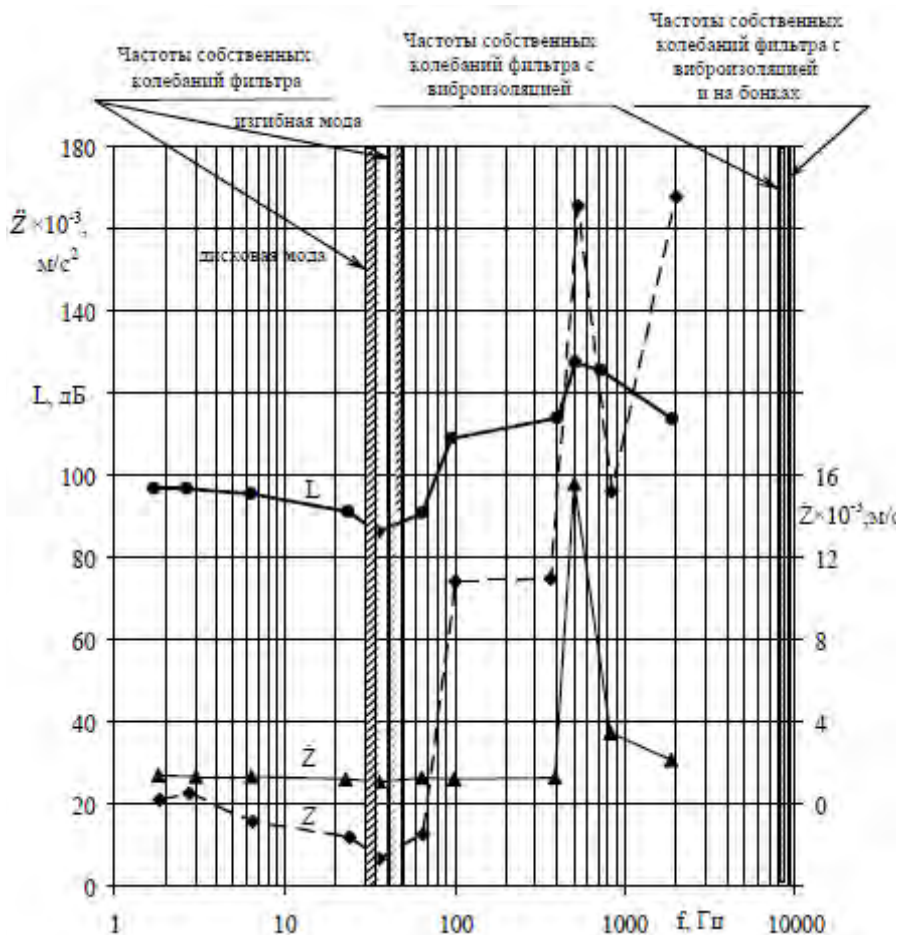


Рисунок 2 – Результаты изучения вибрации СВС-фильтра нейтрализатора дизеля Д20НР-250, на основе окарины легированной стали

По результатам проведенных исследований и моделирования поведения каталитического фильтра, можно сделать следующий вывод о том, что виброизоляция СВС- каталитических фильтров нейтрализаторов, применением рулонного материала из металло - керамических волокон, современных дизелей эффективна, вследствие сдвига частот собственных колебаний фильтров из опасных (то есть рабочих частот двигателя 10,0-36,7 Гц) в область высоких частот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Медведев, Г.В. Металлокерамические фильтры очистки токсичных газов: водный транспорт: монография / Г.В. Медведев. -М.; -Берлин: Директ-Медиа, 2017. -246 с.
- 2 Глаговский, Б.А. Низкочастотные акустические методы контроля в машиностроении / Б.А. Глаговский, И.Б. Москоуенко. -Л.: Машиностроение, 1977. -206 с.
- 3 Карякин, Н.И. Краткий справочник по физике / Н.И. Карякин, К.Н. Быстров, П.С. Киреев. -М.: Высшая школа, 1962. -559 с.
- 4 Петкевич, Г.И. Исследование упругих свойств пористых геологических сред, содержащих жидкости / Г.И. Петкевич, Т.З. Вербицкий. -Киев: Наукова думка, 1965. -76 с.

REFERENCES

- 1 Medvedev, G.V. Metal powder filters for cleaning toxic gases: water transport [Metallokeramicheskie fil'try ochistki toksichnykh gazov: vodnyi transport]. Moscow. Berlin. Direkt-Media Publ. 2017. 246 p.
- 2 Glagovskii, B.A. Nizkochastotnye akusticheskie metody kontrolya v mashinostroenii [Low-frequency acoustic methods of control in engineering]. Leningrad. Mashinostroenie Publ. 1977. 206 p.
- 3 Karyakin, N.I. Physics quick reference guide [Kratkii spravochnik po fizike]. Moscow. Vysshaya shkola Publ. 1962. 559 p.
- 4 Petkevich, G.I. Investigation of the elastic properties of porous geologic materials containing liquids [Issledovanie uprugikh svoistv poristyykh geologicheskikh sred, soderzhashchikh zhidkosti]. Kiev. Naukova dumka Publ. 1965. 76 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: отработавшие газы дизелей, частота собственных колебаний, каталитический нейтрализатор, пористый СВС-фильтр
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Медведев Геннадий Валериевич, канд. техн. наук, доцент АлтГТУ
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 656038, г.Барнаул, пр.Ленина, 46, АлтГТУ

ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В ИЗОЛЯЦИИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

Р.А. Нечитаев

ENERGY LOSSES IN OVERHEAD POWER LINES INSULATION

Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630092, Russia

Roman A. Nechitaev (Laboratory assistant of NSTU)

ABSTRACT: The article considers electric energy losses. The structure of real losses, key definitions and indicators are given. The main problem of the article relates to one of the technical losses components in the overhead line, which is caused by the heating of external insulation by the leakage currents. The existing methods for calculating energy losses in insulator strings are analyzed in chronological order, and some results of tests of leakage current parameters are given. Authors made a calculation of energy losses in insulator strings based on measured leakage current characteristic. The obtained results are compared with the existing ones.

Keywords: overhead power line, technical energy losses, leakage current through the insulation

Рассмотрены потери электрической энергии. Дана структура отчетных потерь, приведены ключевые определения и показатели тематики. Основная проблема статьи связана с одной из составляющих технических потерь энергии в ВЛ, которая обусловлена нагревом внешней изоляции токами утечки. В хронологическом порядке проанализированы существующие методы расчёта потерь энергии в стеклянных гирляндах изоляторов ВЛ и приведены некоторые результаты испытаний параметров тока утечки. Выполнен новый расчёт потерь энергии в гирлянде изоляторов по измеренной характеристике тока утечки. Проведено сравнение полученных результатов с существующими. В заключении сделаны основные выводы и рекомендации по рассмотренной проблеме.

Воздушная линия электропередачи (далее ВЛ) – наиболее экономичный, а потому и распространенный способ транспорта электроэнергии на дальние расстояния. В России протяженность ВЛ высокого и сверхвысокого классов напряжения составляет около 140 тыс. км. По ним транспортируется около половины всей потребляемой электроэнергии страны, при этом на долю отчётных (фактических) потерь при её передаче приходится 4-5%. Укрупнённая структура фактических потерь или технологического расхода электроэнергии при её передаче по электрическим сетям представляется четырьмя основными частями [1]:

- технические потери электроэнергии, обусловленные происходящими в электрооборудовании физическими процессами, их значение получают расчётным путём;
- расход электроэнергии на собственные нужды подстанций, требующийся для работы технологического оборудования в электрической сети и жизнеобеспечения обслуживающего персонала, регистрируемый приборами учёта;
- потери электроэнергии, возникающие при её измерении от инструментальных погрешностей, получаемые расчётным путем на основе данных о метрологических характеристиках приборов учёта;
- коммерческие потери, причиняемые хищениями электроэнергии и несвоевременностью её оплаты.

Учёт и расчёт электрической энергии при её передаче до потребителя ведётся для установления нормативов потерь, определяемых по соотношениям технологических потерь (первые три составляющие фактических потерь) и суммарного отпуска электроэнергии за отчетный период [2].

Доля потерь в ВЛ на 2000 год по данным Всероссийского научно-исследовательского института электроэнергетики (ВНИИЭ) составляла 81% – из которых часть теряется при нагреве проводов от протекания тока, заметную долю составляют потери на корону и утечки по изоляции проводов от опор. Все они относятся к техническим, кроме этого, существуют ненормируемые индукционные потери энергии в несущих конструкциях ВЛ, небольшая доля которых учтена в поправочных коэффициентах при расчёте так называемых нагрузочных потерь [3, 4].

Нормативы технических потерь определяются по нормативным характеристикам либо на основании принятых количественных данных о расходе энергии на электропередачу, сведённых в таблицу по классам электрооборудования и физическим явлениям. Если нормативные характеристики позволяют достаточно точно рассчитать расход, как правило это нагрузочные потери, то по табличным данным, значения в которых определены по совокупно-

сти экспериментальных исследований с эмпирическими расчётами, всегда существует вероятность получения погрешности в результате. Поэтому, несмотря на определяющее значение в балансе производства и потребления электроэнергии учётных показаний метрологических приборов, в отчётных документах необходимо предоставлять каждую компоненту расхода энергии при её передаче, и чем точнее, тем лучше.

Расчёт потери энергии в гирляндах изоляторов ВЛ. Одной из составляющих технических потерь энергии при её передаче являются потери в изоляции воздушных линий электропередачи, которые обусловлены выделением теплоты на поверхности изоляторов от протекания по ним тока утечки. Изоляция ВЛ относится к внешней изоляции электрооборудования, главная функция которой связана с электрической прочностью электроустановки и заключается в обеспечении надежного, безопасного и бесперебойного электроснабжения потребителей. Нарушения в работе ВЛ, особенно аварийные ситуации, ведут к экономическим потерям.

На ВЛ высокого напряжения наибольшее распространение получили стеклянные тарельчатые изоляторы. Они имеют меньшие габариты и выдерживают большие электромеханические нагрузки, технология их изготовления проще и допускает автоматизацию процесса производства.

Значения тока утечки по поверхности изоляторов не нормируются, несмотря на то, что они важны как для определения разрядных характеристик изоляторов, так и для расчета потери энергии. Теоретические и экспериментальные исследования числовых значений токов утечки проводились многими исследователями, но, как правило, они были направлены на поиск зависимости напряжения перекрытия от проводимости слоя загрязнения, усреднённой по поверхности изоляции и во времени. Значительно меньше данных, которые связывали бы вероятность перекрытия с характеристикой тока утечки.

Используемые методы расчета мощности, выделяющейся на одном изоляторе, определяются согласно закону Ома для активной цепи (1), что на схеме замещения представляется только активным сопротивлением $R_{из}$, при этом допускается, что сопротивление изолятора в процессе увлажнения остается неизменным. Кроме того, распределение напряжения по изоляторам вдоль гирлянды, обусловленное протеканием емкостных токов неравномерно, что не учитывается в практическом пособии [1].

$$P_{из}(U_{из}, R_{из}) = \frac{U_{из}^2}{R_{из}}, \quad (1)$$

где $P_{из}$ – потери энергии на отдельном изоляторе гирлянды, Вт;

$U_{из}$ – напряжение на отдельном изоляторе гирлянды, В;

$R_{из}$ – активное сопротивление отдельного изолятора, Ом.

Такое допущение не отражает электрофизические процессы при увлажнении загрязненной изоляции. В процессе увлажнения из раствора электролита на поверхности изолятора испаряется влага, образуются кольцевые подсушенные зоны, периодически возникают и гаснут частичные дужки. При этом на токи утечки, протекающие в поверхностном сопротивлении $R_{из}$ гирлянды изоляторов, накладываются токи частичных разрядов поверхностной емкости C_d (рисунок 1).

Расчёт потери энергии от токов утечки, не учитывающий емкостные токи и процессы увлажнения загрязненной поверхности, является не точным.

При расчёте таким способом, но при разных погодных условиях (туман, морось, дождь, роса), что отражается в значениях интенсивности увлажнения и сопротивлении изолятора, математическое ожидание годовых потерь энергии в изоляции ВЛ в 5-7 раз меньше [5].

Впоследствии авторами [1] внесены исправления в методику расчета. Потери энергии от токов утечки в гирлянде изоляторов любого напряжения рассчитали по эталонному значению потери, измеренной зарубежными исследователями для класса напряжения 110 кВ при разных видах погоды и степени загрязнения [6].

Альтернативным методом расчёта потери энергии в изоляторе является её вычисление по характеристике тока утечки. На рисунке 2 показана осциллограмма тока утечки на увлажненном изоляторе в момент возникновения поверхностных частичных разрядов (далее – ПЧР). В работах [7,8] приведены результаты измерений параметров тока утечки по изоляторам с различной степенью загрязнения, из которых следует, что усреднённое значение фо-

нового тока утечки составляет 2, 7, 12, 17 мА, а усреднённое максимальное амплитудное значение броска тока утечки не превосходит 7, 15, 25, 35 мА для 1, 2, 3, 4 степеней загрязнения внешней изоляции соответственно.

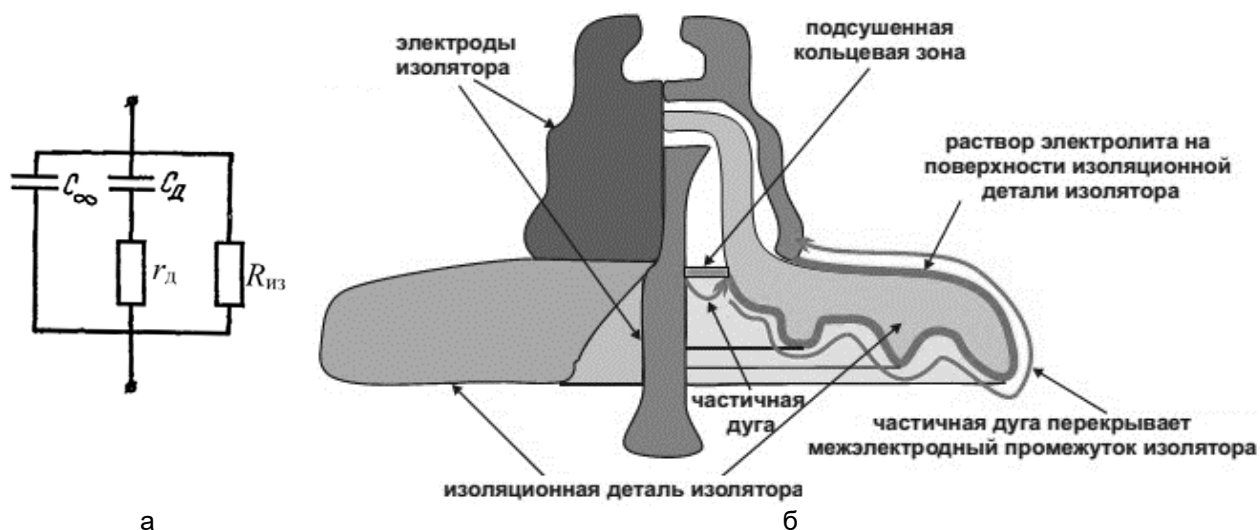


Рисунок 1 – Схема замещения (а) и механизм перекрытия (б) стеклянного изолятора, где: C_∞ – геометрическая ёмкость изолятора; C_d – поверхностная ёмкость изолятора, обусловленная разрядными процессами; r_d – сопротивление разрядки емкости C_d ; $R_{из}$ – сопротивление изолятора

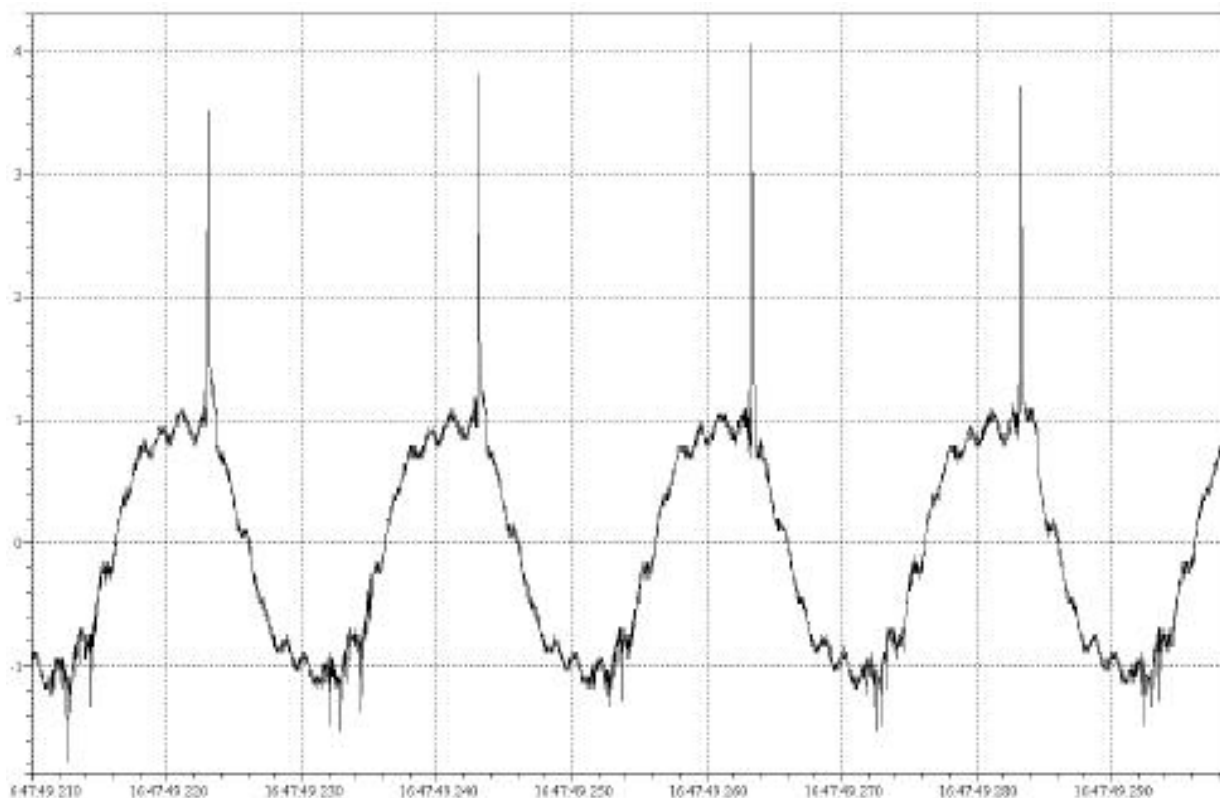


Рисунок 2 – Участок осциллограммы тока утечки гирлянды изоляторов ПС-120-Б в начальный момент возникновения ПЧР при поверхностной проводимости 20 мкСм с интенсивностью увлажнения 0,002 мг/(см²·с)

Таким образом, рассчитать энергию, выделяющуюся в гирлянде изоляторов, возможно в виде Джоулевого тепловыделения по параметру тока утечки

$$P_{ТУ} (I_{ТУ}, R_S) = I_{ТУ}^2 R_S N, \quad (2)$$

где $P_{ТУ}$ – потери энергии в гирлянде изоляторов от тока утечки, Вт;

$I_{\text{ТУ}}$ – действующее значение фоновое тока утечки, А;

R_S – поверхностное сопротивление отдельного изолятора гирлянды, Ом;

N – количество изоляторов в гирлянде.

При этом нагрев изолятора импульсом броска тока утечки определяется по его интегральной характеристике

$$P_{\text{бр.ТУ}}(I_{\text{бр.ТУ}}, R_S) = NR_S \int I_{\text{бр.ТУ}}^2 \exp(-t/\tau) dt, \quad (3)$$

где $I_{\text{бр.ТУ}}$ – амплитуда броска тока утечки, А;

τ – время полуспада импульса броска тока утечки, принимаемое 200 мкс в соответствии с осциллограммой.

Поверхностное сопротивление переменному току утечки по изолятору R_S при условии равномерного слоя загрязнения [9]

$$R_S = \frac{k_\phi}{\gamma_{\text{пов}}}, \quad (4)$$

где k_ϕ – коэффициент формы изолятора, ед.;

$\gamma_{\text{пов}}$ – удельная поверхностная проводимость, См.

На основании приведённого теоретического анализа и с учётом принятых параметров загрязнения изоляции ВЛ [10] расчёт потери энергии в соответствии с (2)-(4) сведён в таблице.

Таблица – Потери энергии в гирлянде изоляторов 110 кВ

Степень загрязнения	$\gamma_{\text{пов}}$, мкСм	N , ед.	R_S , МОм	$I_{\text{ТУ}}$, мА	$I_{\text{бр.ТУ}}$, мА	$P_{\text{ТУ}}$, Вт	$P_{\text{бр.ТУ}}$, Вт	$P_{\text{СР}}$, Вт
1	5-10	6-7	0,9	2	7	3,733	0,013	5
2	10-20	8-9	0,6	7	15	29,4	0,034	60
3	20-30	10-11	0,44	12	25	63,36	0,07	100
4	30-40	12-13	0,37	17	35	107,34	0,115	160

Из таблицы видно, что потери энергии от нагрева броском тока утечки $I_{\text{бр.ТУ}}$ по поверхности изоляции составляют приблизительно 0,11% от нагрева фоновым током $I_{\text{ТУ}}$. При сравнении расчётных значений $P_{\text{ТУ}}$ и усреднённых значений $P_{\text{СР}}$, приведённых в [6], видно, что результаты отличаются в 1,5-2 раза. Поэтому можно предположить, что сопротивление изоляторов в процессе проведения испытаний зарубежными исследователями слабо зависело от погодных условий, либо величина измеренных потерь включает и составляющую потерь на коронирование по поверхности изолятора (ПЧР), что никак не отмечается в [6].

Закключение. Проведенный сравнительный анализ показал, что применяемые методики расчётов нормативных значений потери энергии от токов утечки по внешней изоляции не соответствуют научно-обоснованным результатам расчётов, к тому же заимствованных за рубежом при текущей санкционной внешнеэкономической политике государства.

К настоящему времени в Российской энергетике начали функционировать государственные инновационные проекты, в том числе федеральный испытательный центр, которые способны решать задачи по нормированию в условиях надлежащего качества. Поэтому необходимо рекомендовать эксплуатирующим организациям и контролирующим органам исполнительной власти выполнить работу по нормированию потери энергии во внешней изоляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Железко, Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: рук-во для практ. расч. / Ю.С. Железко, А.В. Артемьев, О.В. Савченко. -М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. -280 с.
- 2 Приказ Минэнерго России от 07.082014 г. №506. Об утверждении Методики определения нормативов потерь электрической энергии при её передаче по электрическим сетям. -М.: Мин-во юстиции Рос. Фед., 2014. -9 с.
- 3 Овсянников, А.Г. Индукционные потери энергии в опорах воздушной линии электропередачи / А.Г. Овсянников, Р.А. Нечитаев // -Научный вестник НГТУ. -

REFERENCES

- 1 Zhelezko Yu.S., Artem'ev A.V., Savchenko O.V. Calculation, analysis and standardization of energy losses of in power networks [Raschet, analiz i normirovanie poter' elektroenergii v elektricheskikh setyakh]. Moscow. NTs ENAS Publ. 2004. 280 p.
- 2 Order of the Ministry of Energy of Russia of August 7, 2014 No. 506 [Prikaz Minenergo Rossii ot 07.082014 g. №506]. On approval of the methodology for determining the standards for losses of electrical energy during its transmission through electric grids [Ob utverzhdenii Metodiki opredeleniya normativov poter' elektricheskoi energii pri ee peredache po elektricheskim setyam]. Moscow. Ministry of Justice of the Russian Federation Publ. 2014. 9 p.
- 3 Ovsyannikov A.G., Nechitaev R.A. Induction power losses in

2016. -Т.63. -№2. -С. 129-140. DOI: 10.17212/1814-1196-2016-2-129-140

4 Нечитаев, Р.А. Анализ индукционных потерь энергии в опорах воздушной ЛЭП 500 кВ / Р.А. Нечитаев // Научный вестник НГТУ. -2017. -Т.68. -№3. -С. 158-171. DOI: 10.17212/1814-1196-2017-3-158-171

5 Рущий, В.М. Уточнение потерь электроэнергии в элементах воздушных ЛЭП / В.М. Рущий, А.Г. Овсянников, Р.А. Нечитаев // Линии электропередачи-2008: проектирование, строительство. Опыт эксплуатации и научно-технический прогресс: сб. докл. Третьей науч.-практ. конф. с межд. участием (3-5 июня 2008 г.) -Новосибирск: Изд-во ЭЛСИ, 2008. -С. 220-225.

6 Железко, Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: рук-во для практ. расч. / Ю.С. Железко. -М.: ЭНАС, 2009. -456 с.

7 Комолов А.А. Совершенствование диагностики внешней изоляции систем электроснабжения железных дорог на основе параметров тока утечки: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Комолов Александр Александрович. -Самара, 2011. -188 с.

8 Боровицкий, В.Г. Сравнение способов увлажнения при определении влагоразрядных характеристик тарельчатых изоляторов / В.Г. Боровицкий, А.А. Решетников, А.Г. Овсянников. -Режим доступа: http://sibdiag.ru/userfiles/files/1_10.pdf. -25.01.2018.

9 Кучинский, Г.С. Изоляция электроустановок высокого напряжения: учеб. для вузов / Г.С. Кучинский, В.Е. Кизеветтер, Ю.С. Пинталь. -М.: Энергоатомиздат, 1987. -368 с.

10 Правила устройства электроустановок. Раздел 1. Глава 1.9 «Изоляция электроустановок». -М.: НЦ ЭНАС, 2002. -20 с.

overhead transmission line towers [Induktsionnye poteri energii v oporakh vozduшной linii elektropredachi]. Scientific Bulletin of NSTU [Nauchnyi vestnik NGTU]. 2016. Vol. 63. No. 2. pp. 129-140. DOI: 10.17212/1814-1196-2016-2-129-140

4 Nechitaev R.A. Analysis of inductive energy losses in overhead power line towers of 500 kV [Analiz induktsionnykh poter' energii v oporakh vozduшной LEP 500 kV]. Scientific Bulletin of the NSTU [Nauchnyi vestnik NGTU]. 2017. Vol. 68. No. 3. pp. 158-171. DOI: 10.17212/1814-1196-2017-3-158-171

5 Rutsii V.M., Ovsyannikov A.G., Nechitaev R.A. Specification of energy losses in the elements of overhead power lines [Utochnenie poter' elektroenergii v elementakh vozduшной LEP]. Power transmission lines - 2008: design, construction. Operational experience and progress in science and technology [Linii elektropredachi-2008: proektirovanie, stroitel'stvo. Opyt ekspluatatsii i nauchno-tehnicheskii progress]. Novosibirsk: ELSI Publ. 2008. pp. 220-225.

6 Zhelezko, Yu.S. Power losses. Reactive power. Quality of electric power supply [Poteri elektroenergii. Reaktivnaya moshchnost'. Kachestvo elektroenergii]. Moscow. ENAS Publ. 2009. 456 p.

7 Komolov A.A. Improvement of external insulation diagnostics of traction power network based on leakage current parameters [Sovershenstvovanie diagnostiki vneshnei izolyatsii sistem elektrosnabzheniya zheleznykh dorog na osnove parametrov toka utechk]. Samara. Samara St. Transp. Univ. Publ. 2011. 188 p.

8 Borovitskii V.G., Reshetnikov A.A., Ovsyannikov A.G. Comparison of methods of moistening in determining the hydrophobic capabilities of disk insulators [Sravnenie sposobov uvlazhneniya pri opredelenii vlagorazryadnykh kharakteristik tarel'chatykh izolyatorov]. URL: http://sibdiag.ru/userfiles/files/1_10.pdf. -25 Jan. 2018.

9 Kuchinskii G.S., Kizevetter V.E., Pinal' Yu.S. Insulation of high voltage electrical installations [Izolyatsiya elektroustanovok vysokogo napryazheniya]. Moscow. Energoatomizdat Publ. 1987. 368 p.

10 Procedure for design and safe operation of electric plants [Pravila ustroistva elektroustanovok]. Moscow. NTs ENAS Publ. 2002. 20 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

воздушная линия электропередачи, технические потери энергии, токи утечки по изоляции

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Нечитаев Роман Александрович, лаборант-исследователь НГТУ

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ

ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ МОНГОЛЬСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПРИ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОРИДОРА АЗИЯ-ЕВРОПА

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

В.З. Манусов, У. Бумцэнд

OPTIMAL REGIMES OF THE MONGOLIAN POWER SYSTEM DURING ELECTRIFICATION OF THE ASIA-EUROPE RAILWAY CORRIDOR

Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630092, Russia

Vadim Z. Manusov (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of NSTU)

Uyangaikaikhan Bumtsend (Graduate student of NSTU)

ABSTRACT: New research has been carried out to eliminate the deficiency of active and reactive power and placing additional sources of reactive power. Optimal regimes are defined with using the gradient method and the algorithm of Swarm intelligence, which made it possible to obtain absolute minimum of active power loss. The comparison showed the advantage of Swarm intelligence algorithm.

Keywords: railway line, optimal regime, power losses, swarm intelligence, reactive power compensation

Выполнены новые исследования устранения дефицита активной и реактивной мощностей и размещения дополнительных источников реактивной мощности. Оптимальные режимы определены с помощью градиентного метода и алгоритма роевого интеллекта, что позволило получить глобальный минимум потерь активной мощности. Сравнение показало преимущество алгоритма роевого интеллекта.

Экономическое и социальное развитие Монголии в большой степени зависит от деятельности железнодорожной отрасли, занимающей высокое положение в структуре транспортно-логистической системы. В 2014 году перевозилось по железной дороге соответственно 63% грузовых перевозок, 22% пассажирских перевозок Монголии [1].

Огромная территория и низкая плотность населения Монголии, децентрализация сельского хозяйства и промышленных центров, огромные запасы природных ресурсов, растущий

с каждым годом торговый оборот соседних двух стран России и Китай, требуют от Монгольского государства иметь структуру транспорта, ускоряющую пассажирские и грузовые перевозки, а также современной экологически чистой и конкурентоспособной перевозки грузов с низкой стоимостью транспортировки.

Обоснование электрификации железной дороги состоит из трёх основных условий: для развития сотрудничества с соседними странами, увеличение рентабельности транспортного коридора, соединяющего Азию и Европу, проходящего по территории Монголии, а также создание экономически эффективную железнодорожную перевозку с современными технико-технологическими решениями.

Монгольская электроэнергетическая система

Монголия может существенно расширить свое производство электроэнергии, используя свои богатые запасы угля, которые составляют более 150 млрд. т, а разведанные немногим более 10 млрд. т. Монгольская электроэнергетическая система (ЭЭС) состоит из взаимосвязанных подсистем: Западный регион, Алтай-Улиастай, Восточный регион, Центральный регион и Южный регион. В настоящее время установленная мощность энергетической системы составляет около 1150 МВт. Ежегодный рост электропотребления в стране составляет 7-10%.

Для достижения поставленной цели электрификации железнодорожной магистрали Монголии необходимо решить следующие задачи:

- ввести новые источники генерации активной и реактивной мощности;
- обеспечить качество электроэнергии в системе тягового электроснабжения, а именно, обеспечить симметрию в питающих линиях Монгольской энергосистемы, так как тяговая нагрузка является несимметричной [2];
- обеспечить надежность питания тяговых подстанций, за счёт питания от двух независимых источников.

Для определения условий электрификации железной дороги необходимо осуществить расчет установившихся режимов (УР). Результаты этих расчетов используются при планировании режимов и оперативном управлении ЭЭС, а также служат базой для выполнения оптимизации, анализа устойчивости и надежности [3].

В работе рассмотрены два сценария возможного развития Монгольской ЭЭС в зависимости от того куда будет подключена система тягового электроснабжения. Первый сценарий состоит в том, что четыре тяговых подстанции северной части железной дороги будут подсоединены к существующим подстанциям на напряжение 110 кВ. Второй сценарий состоит в присоединении к узлам ЭЭС Монголии на напряжении 220 кВ. На рисунке 1 показан фрагмент расчетной схемы при подключении тяги на 110 кВ, по первому сценарию.

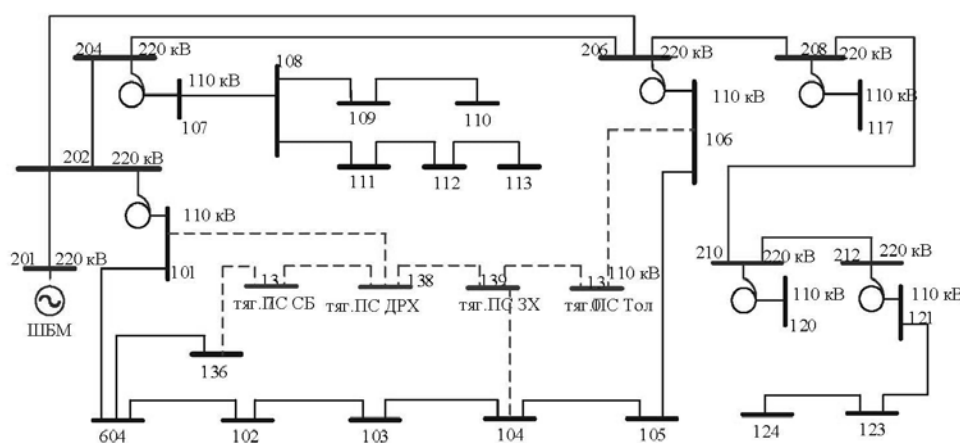


Рисунок 1 – Фрагмент расчетной схемы тягового электроснабжения на 110/25 кВ

После расчета по первому сценарию получены следующие результаты:

- вырабатываемая мощность $P_r = 1213,4$ МВт, $Q_r = 389$ МВАр;
- импортируемая мощность $P_{имп} = 146,6$ МВт, $Q_{имп} = 20$ МВАр;
- потребляемая мощность $P_{порт} = 1360$ МВт, $Q_{порт} = 389$ МВАр;

– суммарные потери активной мощности составляют $\Delta P_{\Sigma} = 48,42$ МВт, а в процентах 3,29%.

Для второго сценария развития при подключении тяговых нагрузок к сети 220 кВ выбрана схема, представленная на рисунке 2.

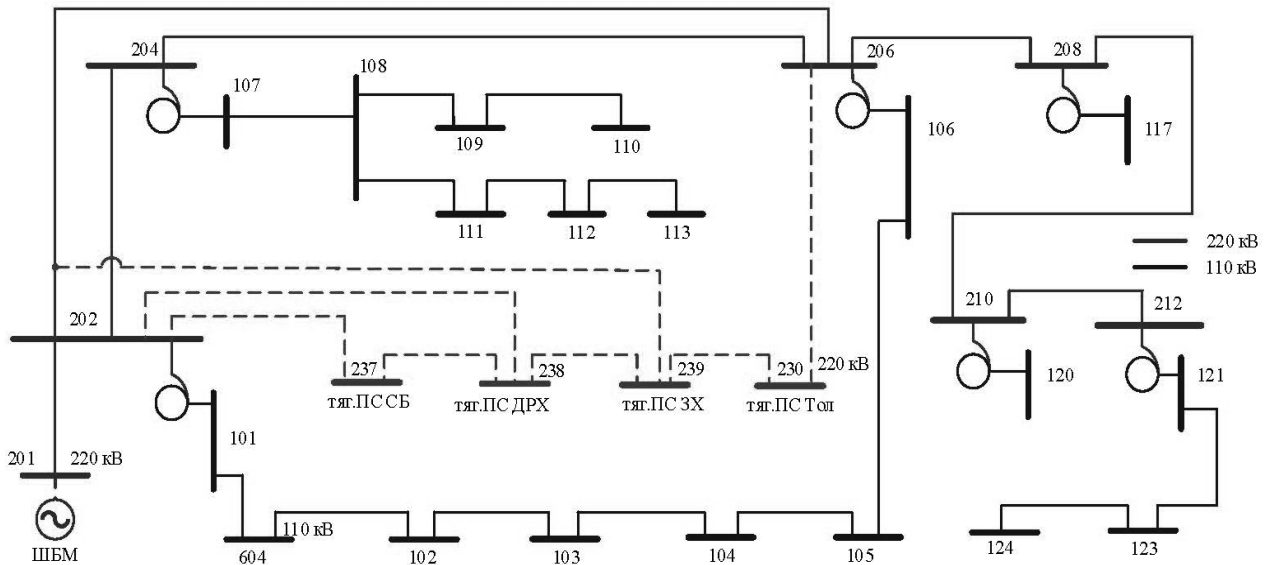


Рисунок 2 – Фрагмент расчетной схемы тягового электроснабжения на 220/25 кВ

После расчета по второму сценарию получены следующие результаты:

- вырабатываемая мощность $P_r = 1213,4$ МВт, $Q_r = 314,1$ МВАр;
- импортируемая мощность $P_{имп} = 136,6$ МВт, $Q_{имп} = 26,2$ МВАр;
- потребляемая мощность $P_{порт} = 1350$ МВт, $Q_{порт} = 342$ МВАр
- суммарные потери активной мощности составляют $\Delta P_{\Sigma} = 38,53$ МВт, а в процентах 2,85%.

Наименьшие напряжения наблюдаются в следующих узлах сети 110 кВ и 220 кВ, которые в дальнейшем выбраны в качестве приоритетных узлов для установки компенсирующих установок (КУ).

Таблица 1 – Приоритетные узлы для установки КУ

По сценарию 1		По сценарию 2	
Номер узла	Напряжение U , кВ	Номер узла	Напряжение U , кВ
103	103,05	110	94,31
104	100,68	111	100,96
109	99,23	112	95,67
110	95,20	113	91,01
111	101,56	120	103,62
112	96,37	122	106,51
113	91,80	123	100,82
123	105,49	124	97,49
124	102,55	–	–
139	100,07	–	–

Оптимизация режимов по реактивной мощности. Одной из задач оптимизации является выбор метода, позволяющего из множества допустимых решений выбрать такие, при которых значения управляемых параметров удовлетворяют заданным ограничениям и обращают в максимум или минимум целевую функцию [3].

В результате решения оптимизационной задачи для первого сценария определены оптимальные мощности ИРМ в приоритетных узлах, которые сведены в таблицу 2. По результатам первой оптимизации были выбраны 5 узлов показанные в столбцах «2 этап оптимизации» из предыдущих 10 узлов, и заново провели оптимизацию по реактивной мощности.

Таблица 2 – Оптимальные мощности КУ по первому сценарию

Номер узла	Реактивная мощность нагрузки, МВАр	Рекомендуемая мощность КУ, МВАр			
		1 этап оптимизации		2 этап оптимизации	
		градиентный метод	метод роя частиц	градиентный метод	метод роя частиц
103	0,2	0	0	–	–
104	1,0	5,19	3,06	4,80	3,66
109	2,6	0	0	–	–
110	1,5	0,06	0	0	0
111	2,5	0	0,16	–	–
112	1,0	0,72	0	0	0
113	1,5	0,90	0	1,40	0
123	2,0	0	1,79	–	–
124	1,5	0	0	–	–
139	42,0	51,75	57,75	50,20	56,51
Итого		58,62	62,76	56,40	60,17
Потери в сети, МВт		42,20	39,59	42,14	39,75

Аналогичные расчеты выполнены для второго сценария при подключении тяговых нагрузок на напряжение 220 кВ. По результатам первой оптимизации были выбраны 4 узла показанные в столбцах «2 этап оптимизации» из предыдущих 8 узлов, и заново провели оптимизацию по реактивной мощности, результаты расчетов двух оптимизации сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Оптимальные мощности КУ по второму сценарию

Номер узла	Реактивная мощность нагрузки, МВАр	Рекомендуемая мощность КУ, МВАр			
		1 этап оптимизации		2 этап оптимизации	
		градиентный метод	метод роя частиц	градиентный метод	метод роя частиц
110	1,5	0,9	0,82	0,7	0
111	2,5	0	5,98	–	–
112	1,0	0,1	0	–	–
113	1,5	3,6	0,26	3,5	0
120	3,0	15,9	44,10	17,4	59,88
122	0,4	0	0	–	–
123	2,0	0	0	–	–
124	1,5	2,4	0	1,9	0
Итого		22,9	51,16	23,5	59,88
Потери в сети, МВт		35,68	28,78	35,54	30,15

Оценка статической устойчивости Монгольской ЭЭС при электрификации железной дороги. Величина запаса статической устойчивости определяет меру возможности ухудшения режима до нарушения статической устойчивости. Проведен расчет коэффициентов запаса устойчивости до и после подключения тяговых нагрузок в сечениях по линии 220 кВ между шиной бесконечной мощности-Селендум и Дарханской подстанции, результаты которого приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Коэффициенты запаса устойчивости, %

Коэффициенты запаса устойчивости	K_p	K_u
До подключения тяговых нагрузок	67,47	36,28
После подключения тяговых нагрузок по первому сценарию	51,40	12,46
После подключения тяговых нагрузок по второму сценарию	55,16	15,73

Выводы:

– Показана техническая и экономическая целесообразность электрификации центральной железнодорожной магистрали для создания кратчайшего железнодорожного коридора Азия-Европа. Это позволит значительно увеличить провозную способность грузоперевозок между странами Юго-Восточной Азии и странами Европы.

– Обоснована целесообразность построения системы тягового электроснабжения в ви-

де системы 2×25 (27,5) кВ переменного тока, принятой для скоростных железных дорог и совпадающей с электрифицированными железными дорогами соседних дружественных стран, Россия и Китай. Выбор этой системы тягового электроснабжения подкрепляется проведенными расчетами несимметрии в питающих сетях ЭЭС Монголии, возникающей при переходе от двухфазной системы электрифицированной тяги к трехфазной питающей системе на напряжение 110/220 кВ.

– Рассмотрены два возможных сценария подключения четырех тяговых подстанции, через трансформатор Скотта, либо к сети напряжением 110 кВ, либо к сети 220 кВ. При этом обоснована необходимость компенсации реактивной мощности в узлах с пониженными напряжениями. Оптимальное решение найдено двумя методами: градиентным методом и методом роевого интеллекта. Лучший результат показал алгоритм роя частиц метода роевого интеллекта.

– Исследования по этому направлению выполнены впервые и не имеют предшествующих работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Манусов, В.З. Электрификация международного транспортного железнодорожного коридора «Азия-Европа» как путь устойчивого развития электроэнергетической системы монголии / В. З. Манусов, Б. В. Палагушкин, У. Бумцэнд // -Изв. Транссиба. -2016. -№4(28). -С. 94-101.

2 Manusov, V.Z. Optimization Compensating Devices in the Power Supply Systems Using Population Algorithms / V.Z. Manusov, U. Bumtsend, E.S. Tretyakova // 2016 11th International Forum on Strategic Technology, Novosibirsk, 1-2 June 2016, -Novosibirsk: Novosibirsk St. Techn. Univ. Publ., 2016. -P. 276-280.

3 Манусов, В.З. Анализ и оптимизация режимов электроэнергетической системы Монголии с учетом электрификации Уланбаторской железнодорожной магистрали / В.З. Манусов, У. Бумцэнд, Э. Энхсайхан // -Новое в российской электроэнергетике. -2017. -№10. -С. 55-66.

REFERENCES

1 Manusov V.Z., Palagushkin B.V., Bumtsend U. Electrification of the international asia-europe railway corridor as a way of sustainable development of the electric power system of Mongolia [Elektrifikatsiya mezhdunarodnogo transportnogo zheleznodorozhnogo koridora «Aziya-Evropa» kak put' ustoichivogo razvitiya elektroenergeticheskoi sistemy mongolii]. *Izvestiya Transsiba*. 2016. No. 4(28). pp. 94-101.

2 Manusov V.Z., Bumtsend U., Tretyakova E.S. Optimization Compensating Devices in the Power Supply Systems Using Population Algorithms. *2016 11th International Forum on Strategic Technology*, Novosibirsk, 1-2 June 2016. Novosibirsk. Novosibirsk St. Techn. Univ. Publ. pp. 276-280.

3 Manusov V.Z., Bumtsend U., Enkhsaikhan E. Analysis and optimization of regimes of Mongolian electric power system considering the electrification of the Ulaanbaatar railway [Analiz i optimizatsiya rezhimov elektroenergeticheskoi sistemy Mongolii s uchetoм elektrifikatsii Ulanbatorskoi zheleznodorozhnoi magistrali]. *Novoe v rossiiskoi elektroenergetike*. 2017. No. 10. pp. 55-66.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железнодорожная магистраль, оптимальный режим, потери мощности, роевой интеллект, компенсация по реактивной мощности

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор НГТУ
Бумцэнд Уянгасаухан, аспирант НГТУ

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ

ОЦЕНКА ДОСТУПНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ЗА СЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

Таджикский технический университет им. М.С. Осими

В.З. Манусов, З.С. Ганиев, Ш.М. Султонов

ESTIMATION OF ENERGY RESOURCES AVAILABILITY BY SOLAR RADIATION IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630092, Russia

Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi (TTU) 10, Ac. Rajabovho St., Dushanbe, 734042, Tajikistan

Vadim Z. Manusov (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of NSTU)

Zokirdzhon S. Ganiev (Senior Lecturer of TTU)

Sherkhon M. Sultonov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of TTU)

ABSTRACT: The article shows the possibility of affordable use of potential of solar energy taking into account the high altitude location of many settlements, as well as the autonomous feature of energy centers. Authors present data on solar radiation depending on the height of the location of the objects. Information is based on the statistical data and the expeditionary survey.

Keywords: energy resources, power deficiency, solar radiation, solar resources, Republic of Tajikistan

Показано, возможность доступного использования солнечного потенциала с учетом высокогорного расположения многих населенных пунктов, а также автономный характер энергетических центров. На основе статистических данных и экспедиционного обследования приведены данные о солнечной радиации в зависимости от высоты расположения объектов.

Географическое положение Республики Таджикистан таково, что ее климат отличается значительной солнечной радиацией и незначительным количеством осадков, а также небольшой облачностью и продолжительностью солнечного света, примерно от 2100 ч до 3100 ч в год. При этом суммарное значение тепловой энергии от солнечной радиации при безоблачном небе примерно, составляет 7500-7800 МДж/м². В тоже время в гористой местности республики с повышением высоты солнечная энергия увеличивается до 8600-9200 МДж/м². Если говорить о долинно-предгорной части территории республики, то там солнечная энергетика позволяет получить 5600-8200 МДж/м². В условиях высокогорья, когда населенные пункты располагаются на высоте 3400 м над уровнем моря, солнечная энергия может быть использована практически круглогодично как гибридный источник электрической и тепловой энергии.

В таблице 1 приведено производство электроэнергии в Таджикистане за прошедший период с 2000 по 2014 г.

Таблица 1 – Выработка электроэнергии в 2000-2014 гг., ТВт

2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
13,3	15,6	14,3	14,2	14,2	15,1	16,5	16,5	17,4	14,8	16,1	16,1	16,1	16,9	17,1

Большая часть электроэнергии (65%) было произведено в период с ноября по апрель. Только 35% энергии было произведено в теплое время года (с апреля по сентябрь). Среднемесячное производство около 14 ГВт, все месяцы теплого сезона ниже среднего производства, все месяцы зимнего периода выше этого значения.

Совокупность имеющихся источников электроэнергии в ГБАО производится на местном уровне. Электричество не импортируется из национальной сети. Производство удовлетворяет спрос в летний сезон, зимние потребности, однако, высоки, и совокупность спроса не может быть удовлетворен. Ежемесячное производство является регулярным и предсказуемым, межгодовая изменчивость выходной энергии является довольно низким, за исключением месяцев февраль и март.

При этом по месячная оценка гелиоресурсов, которое можно принять пропорционально солнечной радиации, максимальный с 12 до 14 часов суток представлен на рисунке 1.

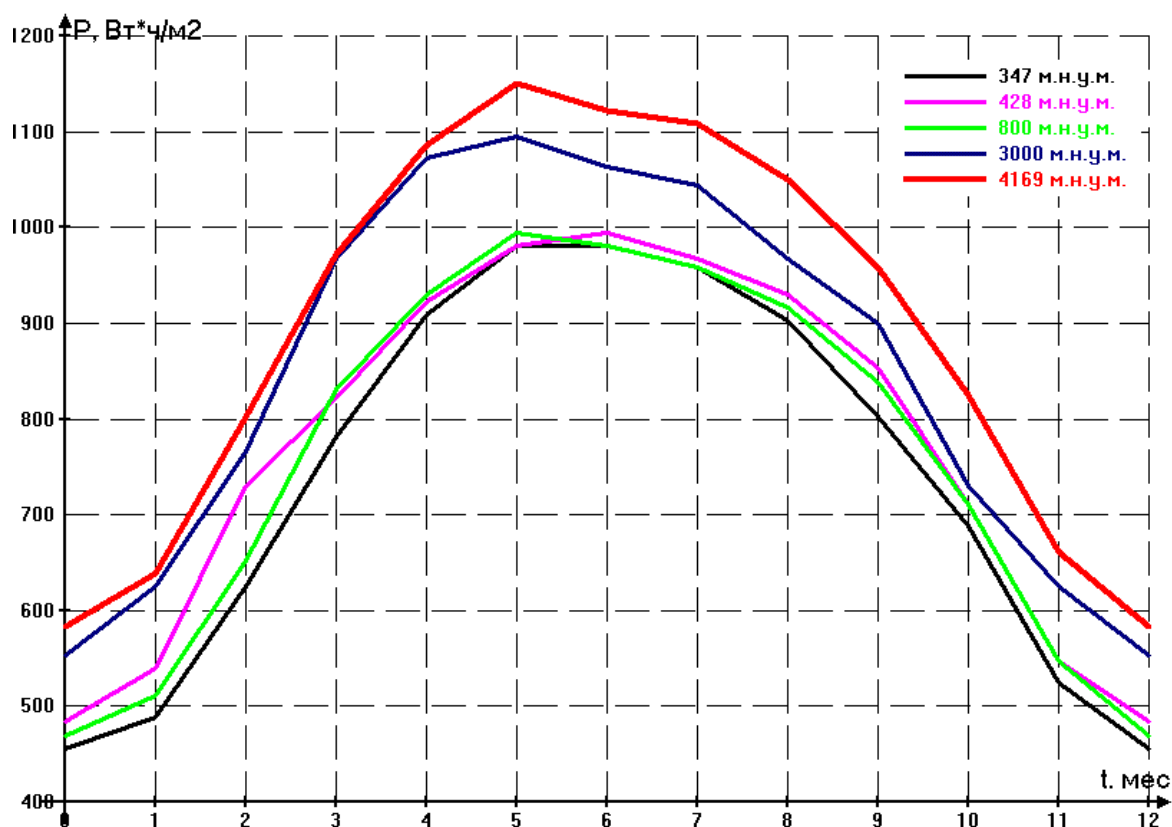


Рисунок 1 – Мощность солнечной радиации по месяцам

ELECTRIC POWER INDUSTRY

В тоже время, за эти почти три десятилетия население страны продолжало расти, оказывая еще большее давление, на природные энергетические ресурсы, увеличивая потребность для более эффективного использования существующих производственных мощностей. Большие усилия прилагаются в настоящее время, чтобы реабилитировать, перестроить и расширить всю имеющуюся энергетическую инфраструктуру. Этот процесс требует значительных финансовых издержек.

Доступность гелиоэнергетических ресурсов. Теоретическое, солнечное облучение на средней широте Республики Таджикистан, показано в таблице 2.

Таблица 2 – Теоретические параметры солнечного облучения горизонтальной площадки на поверхности Земли в ясный день на средней широте Республики Таджикистан

Величина солнечного облучения	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
МДж/м ² сут.	13	15	20	25	27	28	26	25	19	15	12	11
Вт/м ² ср. сут.	150	174	231	289	312	324	301	289	220	174	139	127

Среднесуточное значение теоретического солнечного облучения для Республики Таджикистан в ясный день, согласно таблице 2 составляет 228 Вт/м².

Эти данные хорошо согласуются с непосредственными наблюдениями гидрометеостанций показанные в таблице 3.

Таблица 3 – Солнечная радиация в Республики Таджикистан

Величина Вт/м ²	Месяцы					
	I	II	III	X	XI	XII
Минимальная	80,0	114,0	153,0	164,0	100,0	65,0
Средняя	87,2	121,6	160,4	167,4	110,0	75,6
Максимальная	96,0	137,0	187,0	172,0	114,0	86,0

При прямом преобразовании в электроэнергию, выходная мощность будет меньше. Приняв даже, что в солнечных панелях будут использованы кристаллы Zn, Mn, Te, воспринимающие фотоны сразу трех частот — с энергией 0,7; 1,8 и 2,6 эВ и имеющие расчетный КПД – 47%, или им подобные, получим, что технический потенциал солнечной энергии в Таджикистан равен

$$W = 2620,5 \cdot 0,47 = 1231,7 \text{ МВт.}$$

Было рассмотрено покрытие дефицита годового графика нагрузки в течение 5 месяцев при различной площади солнечных панелей. Условия покрытия дефицита мощности января, февраля, октября и декабря месяцев при различной площади установленных солнечных панелей. Результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Покрытие дефицита мощности за счет солнечной энергии

Месяцы	Январь	Февраль	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Выработка солнечной энергии, МВт/км ²	87,2	121,6	167,4	110	75,6
Обжитая территория, км ²	10296	10296	10296	10296	10296
Доля площади для установки солнечных панелей, %	1795,62	2503,98	3447,10	2265,12	1556,75
С учетом 10 ч за сутки	754,16	1051,67	1447,78	951,35	653,83
Процент от обжитой площади, %	754	1051	1447	951	653
Дефицит мощности, МВт	606,09	468,56	590,15	520,33	572,72
Ликвидации дефицита	150,105	584,537	858,941	432,87	82,381

Выводы. Географическое расположение Республики Таджикистан таково, что после водных ресурсов предпочтение следует отдать солнечной энергии, которая могла бы удовлетворить от 15 до 20% национального спроса на энергию.

В результате проведенных исследований получено оптимальное решение полного устранения дефицита мощностей за счет солнечных панелей на 0,5% обжитой территорий Таджикистана. Вышеприведенный анализ относится к прямому преобразованию солнечной энергии в электрическую и тепловую энергии. Для социально-бытового сектора большой интерес представляет также использование солнечной энергии для отопления и горячего водоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- 1 Ахъёев Дж.С. Нечеткие модели распределенной генерации возобновляемых источников энергии Республики Таджикистан / Дж.С. Ахъёев, А.К. Киргизов, Э.Г. Ядагаев // -Научный вестник НГТУ. -2016. -№3(64). -С. 117-131.
- 2 Манусов В.З. Обоснование использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии для покрытия дефицита мощности в республике Таджикистан / В.З. Манусов, З.С. Ганиев, Дж.С. Ахъёев // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2017. -№1-2. -С. 139-142.
- 3 Manusov, V.Z. Construction and optimization of a power complex with a distributed generation on the basis of renewables and methods of artificial intelligence (on the example of the Republic of Tajikistan) / V.Z. Manusov, A. Kirgizov, J. Ahoyev // E3S Web of Conferences: International Conference on Sustainable Cities (ICSC 2016). -2016. -Vol. 6. 7 p. DOI: 10.1051/e3sconf/20160603006

- 1 Akh'eev Dzh.S., Kirgizov A.K., Yadagaev E.G. Fuzzy models of distributed generation of renewable energy sources in the Republic of Tajikistan [Nechetkie modeli raspredelennoi generatsii vozobnovlyayemykh istochnikov energii Respubliki Tadjikistan]. *Nauchnyi vestnik NGTU*. 2016. No. 3(64). pp. 117-131.
- 2 Manusov V.Z., Ganiev Z.S., Akh'eev Dzh.S. Rationale for the use of non-traditional renewable energy sources to cover the power shortage in the Republic of Tajikistan [Obosnovanie ispol'zovaniya netraditsionnykh vozobnovlyayemykh istochnikov energii dlya pokrytiya defitsita moshchnosti v respublike Tadjikistan]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2017. No. 1-2. pp. 139-142.
- 3 Manusov V.Z., Kirgizov A., Ahoyev J. Construction and optimization of a power complex with a distributed generation on the basis of renewables and methods of artificial intelligence (on the example of the Republic of Tajikistan). *E3S Web of Conferences*. -2016. -Vol. 6: *International Conference on Sustainable Cities (ICSC 2016)*. 7 p. DOI: 10.1051/e3sconf/20160603006

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергетические ресурсы, дефицит мощности, солнечная радиация, геолоэлектрические ресурсы, Республика Таджикистан

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор НГТУ
Ганиев Зокирджон Султонович, старший преподаватель ТТУ им. М. Осими
Султонов Шерхон Муртазокулович, канд. техн. наук, доцент ТТУ им. М. Осими

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ
734042, Республика Таджикистан, г.Душанбе, ул.Ак.Раджабовых, 10, ТТУ им. М. Осими

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНДУКТИВНОЙ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПОМЕХИ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ ПО ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Омский институт водного транспорта (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»
ООО «Вымпелсетьстрой»
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

**А.И. Антонов, Ю.М. Денчик, Д.А. Зубанов, Н.В. Зубанова,
Е.В. Иванова, А.А. Руппель, В.Г. Сальников**

ALGORITHM OF DETERMINATION OF CONDUCTIVE LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE USING ASYMMETRY COEFFICIENT OF THE VOLTAGE BY THE REVERSE SEQUENCE

Omsk Institute of Water Transport (branch) Siberian State University of Water Transport (OIWT) 4, Ivan Alekseev St., Omsk, 644099, Russia
Vypelset'stroi (Vypelset'stroi) 35, Varshavskoe shosse St., Moscow, 117105, Russia
Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia
Aleksandr I. Antonov (Senior Lecturer of OIWT)
Juliya M. Denchik (Lead Engineer Vypelset'stroi)
Dmitrii A. Zubanov (Senior Lecturer of OIWT)
Natal'ya V. Zubanova (Graduate student of SSUWT)
Elena V. Ivanova (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)
Aleksandr A. Ruppel (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of OIWT)
Vasilii G. Sal'nikov (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

ABSTRACT: The article presents the development of an algorithm for determining the conductive low-frequency electromagnetic interference using asymmetry coefficient of the voltage by the reverse sequence. This development will allow to make a step forward on the way to suppression of conductive low-frequency interference to solve the problem of electromagnetic compatibility of technical means.

Keywords: voltage unbalance, quality of power supply, electromagnetic interference, electromagnetic compatibility, algorithm

Выполнена разработка алгоритма определения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности. Данная разработка позволит сделать шаг вперед на пути к подавлению кондуктивной низкочастотной помехи для решения проблемы электромагнитной совместимости технических средств.

В настоящее время происходит всё более интенсивная электрификация различных регионов Российской Федерации, связанная с нарастанием темпов их освоения. Одним из факторов предъявляемых требований к системам электроснабжения является повышение качества функционирования электрических сетей общего назначения. Качество функциони-

рования определяется степенью соответствия технических средств требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 32144-2013. Многие системы электроснабжения по ряду причин характеризуются некачественной электроэнергией, в результате чего обостряется проблема электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств. В связи с этим возникают кондуктивные низкочастотные электромагнитные помехи (ЭМП) в системах электроснабжения. Данные ЭМП могут быть по различным показателям качества электрической энергии (ПКЭ).

Одним из ПКЭ является коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности K_{2U} . Из-за ряда определённых причин (например, различные условия работы фаз, возникающие из-за несимметрии источников тока или неполнофазных режимов работы элементов электрической сети) зачастую наблюдается несимметрия трёхфазных систем напряжений в электрических сетях общего назначения, которая обуславливает появление кондуктивных низкочастотных (ЭМП) по данному ПКЭ.

Одним из современных научных направлений решения проблемы ЭМС технических средств является улучшение электромагнитной обстановки (ЭМО). Однако рассматриваемая проблема имеет очень широкий диапазон различных аспектов и нюансов, и вопрос решения научно-технической задачи, одной из которых является определение кондуктивной низкочастотной помехи по рассматриваемому K_{2U} не решена в связи с отсутствием соответствующего стандарта. Поэтому возникает необходимость в разработке алгоритма определения кондуктивной низкочастотной ЭМП по K_{2U} , что позволит своевременно обнаруживать данную помеху и вероятность её появления в электрических сетях любого уровня напряжения. Без этого достаточно проблематично подавлять данную помеху в связи с тем, что неизвестно, где, когда и с какой вероятностью эта помеха появится. А подавлять её необходимо, поскольку кондуктивная низкочастотная ЭМП по K_{2U} приводит к ряду негативных последствий, таких как снижение вращающего момента на валу вращающихся машин и, вследствие чего, их дополнительный нагрев; снижение скорости вращения роторов асинхронных двигателей и производительности приводимых ими механизмов; увеличенное потребление реактивной мощности и, как следствие, увеличение электрических потерь в электрических сетях. При несимметрии напряжений, составляющей 2%, срок службы асинхронных двигателей ввиду дополнительных потерь активной мощности сокращается на 10,8%, синхронных – на 16,2%, трансформаторов – на 4%, конденсаторов – на 20%.

Разрабатываемый алгоритм основан на требованиях межгосударственного стандарта ГОСТ 32144-2013, согласно которому K_{2U} определён как вид искажения электрической энергии в электрических сетях общего назначения и установлены следующие уровни ЭМС технических средств для кондуктивной низкочастотной ЭМП по K_{2U} . Эти уровни характеризуются нормально допустимым значением K_{2UH} , равным 2%, и предельно допустимым значением K_{2UP} , равным 4%. ЭМС технических средств обеспечивается в том случае, если усреднённые (интегрированные) оценки K_{2U} не выходят за предельно допустимый уровень, а в течение не менее 95% времени за расчётный период не выходят за пределы нормально допустимого значения.

Значения K_{2U} вычисляются по следующей формуле [1]

$$K_{2U} = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}; \quad (1)$$

$$\beta = \frac{U_{12fund}^4 + U_{23fund}^4 + U_{31}^4}{(U_{12fund}^2 + U_{23fund}^2 + U_{31fund}^2)^2},$$

где U_{ijfund} – основная составляющая напряжения между фазами i и j .

На основании теоремы непрерывности [2], величина K_{2U} в электрической сети является непрерывно распределённой случайной величиной и зависит от многих случайных событий. Соответственно, этот коэффициент связан с полем событий и характеризуется таблицей вероятностей [2]

$$\left(K_{2U1}, K_{2U2}, K_{2U3}, \dots, K_{2Uj}, \dots, K_{2Un} \right), \quad (2)$$

$$P_1, P_2, P_3, \dots, P_i, \dots, P_n$$

где $K_{2U1}, \dots, K_{2Un}$ – значения коэффициента K_{2U} в течение расчётного времени, %;

$P_1, \dots, P_n$ – вероятности появления этих значений.

При превышении нормально допустимого значения K_{2U} часть поля событий (1) обуславливает появление кондуктивной низкочастотной ЭМП, вызванной особенностями технологического процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии в электрических сетях общего назначения (рисунок 1). Достоверное значение этой кондуктивной низкочастотной ЭМП может быть определено только статистическими методами [3].

Процесс возникновения кондуктивной низкочастотной ЭМП по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности можно представить следующей математической моделью

$$K_{2U} \left[\begin{array}{l} P(K_{2UH} < K_{2U} < K_{2UN}) > 0,05 \\ P(K_{2UN} < K_{2U} < \infty) \neq 0 \end{array} \right] \subseteq \delta K_{2U}, \quad (3)$$

где δK_{2U} – кондуктивная низкочастотная ЭМП по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности, %.

Следовательно, помеха δK_{2U} появляется в электрической сети в том случае, когда вероятность нахождения K_{2U} в течение расчетного времени в пределах от 2 до 4% превышает 0,05, а свыше 4% – является величиной, отличной от 0. Эта помеха появляется также при выполнении только одного условия [3].

Иными словами, на основании математической модели (3) можно сделать вывод, что если значения K_{2U} находятся в пределах от 2 до 4% в течение 5% времени и более или, хотя бы одно из значений K_{2U} вышло за 4%, то в этом случае возникает помеха δK_{2U} .

Интегральная функция вероятности распределения непрерывно распределённой случайной величины K_{2U} в интервале нормально допустимых и предельно допустимых значений ($K_{2UH}; K_{2UN}$) определяется по формуле

$$P(K_{2UH} < K_{2U} < K_{2UN}) = \int_2^4 \psi(K_{2U}) d(K_{2U}). \quad (4)$$

Для интервала ($K_{2UN}; \infty$) эта функция может быть записана в виде следующей формулы

$$P(K_{2UN} < K_{2U} < \infty) = \int_4^{\infty} \psi(K_{2U}) d(K_{2U}), \quad (5)$$

где $\psi(K_{2U})$ – плотность вероятности распределения величины K_{2U} , 1/%.

На основании теоремы о равенстве начальных моментов и следствия о равенстве центральных моментов распределения непрерывной случайной величины и её производящей функции [2] имеем равенства

$$M[K_{2U}] = M[\delta K_{2U}]; \quad (6)$$

$$\sigma[K_{2U}] = \sigma[\delta K_{2U}], \quad (7)$$

где $M[K_{2U}]$, $M[\delta K_{2U}]$ – математическое ожидание, соответственно, величин K_{2U} и δK_{2U} , %;

$\sigma[K_{2U}]$, $\sigma[\delta K_{2U}]$ – среднеквадратичные отклонения этих величин, %.

Следствия из теоремы единственности и теоремы непрерывности теории производящих [2] функций позволяют записать

$$\Psi\{K_{2U}, M[K_{2U}], \sigma[K_{2U}]\} = \{\delta K_{2U}, M[\delta K_{2U}], \sigma[\delta K_{2U}]\}, \quad (8)$$

где $\Psi\{K_{2U}, M[K_{2U}], \sigma[K_{2U}]\}$ – плотность вероятности распределения случайной величины K_{2U} , 1/%;

$\{\delta K_{2U}, M[\delta K_{2U}], \sigma[\delta K_{2U}]\}$ – плотность вероятности распределения величины δK_{2U} 1/%.

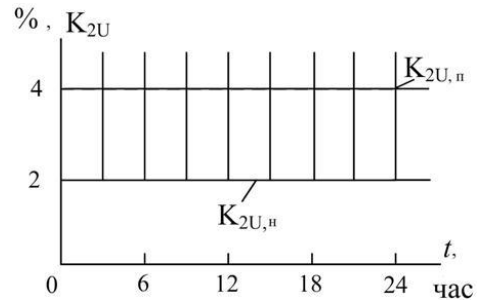


Рисунок 1 – Область появления кондуктивной низкочастотной ЭМП по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности

Таким образом, вероятность появления кондуктивной низкочастотной ЭМП δK_{2U} в трёхфазной трёхпроводной электрической сети можно определить по формуле

$$P(\delta K_{2U}) = P(K_{2U(n)} < K_{2U} < K_{2U(n)}) + P(K_{2U(n)} \leq K_{2U} \leq \infty) - 0,05. \quad (9)$$

Полученные параметры кондуктивной низкочастотной ЭМП $M[K_{2U}]$, $\sigma[K_{2U}]$ и вероятность её появления $P(\delta K_{2U})$ за расчётный период позволяют представить следующий порядок действий для определения кондуктивной низкочастотной ЭМП по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности, состоящий из 4-х пунктов:

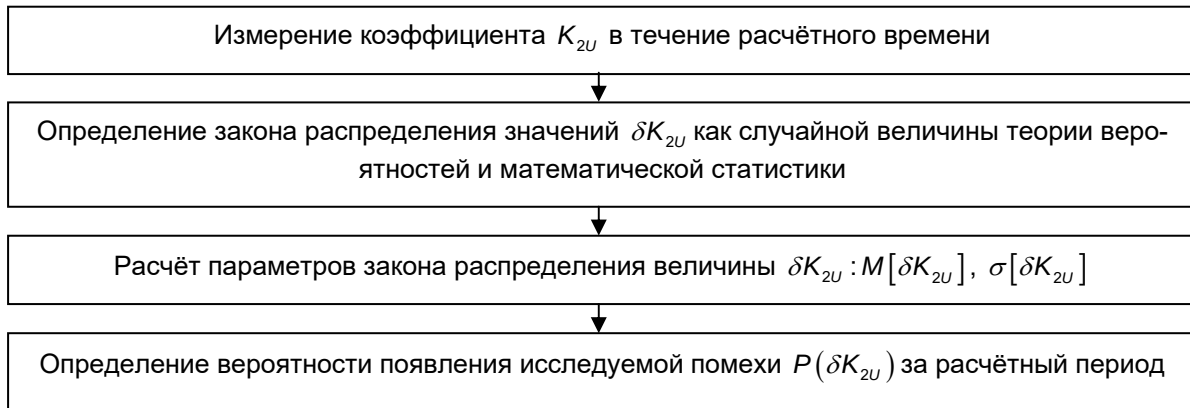


Рисунок 2 – Алгоритм определения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности

На основании разработанного алгоритма и методического подхода к концепции повышения качества функционирования технических средств, необходимо средство, позволяющее статистически обрабатывать необходимые данные таким образом, чтобы полученные в ходе экспериментальных исследований данные визуализировались, вычислялись их параметры распределения и определялись вероятности появления исследуемой помехи. В связи с этим принято решение разработать программу для ЭВМ в среде разработки LabVIEW.

Разработанная программа для ЭВМ носит название «Обработка экспериментальных данных показателей качества электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности», интерфейс данной программы показан на рисунке 3.

Данная программа позволяет реализовать и визуализировать все пункты разработанного алгоритма, кроме измерения коэффициента K_{2U} в течение расчётного времени. Для реализации данного пункта необходимо использовать измерительно-вычислительные комплек-

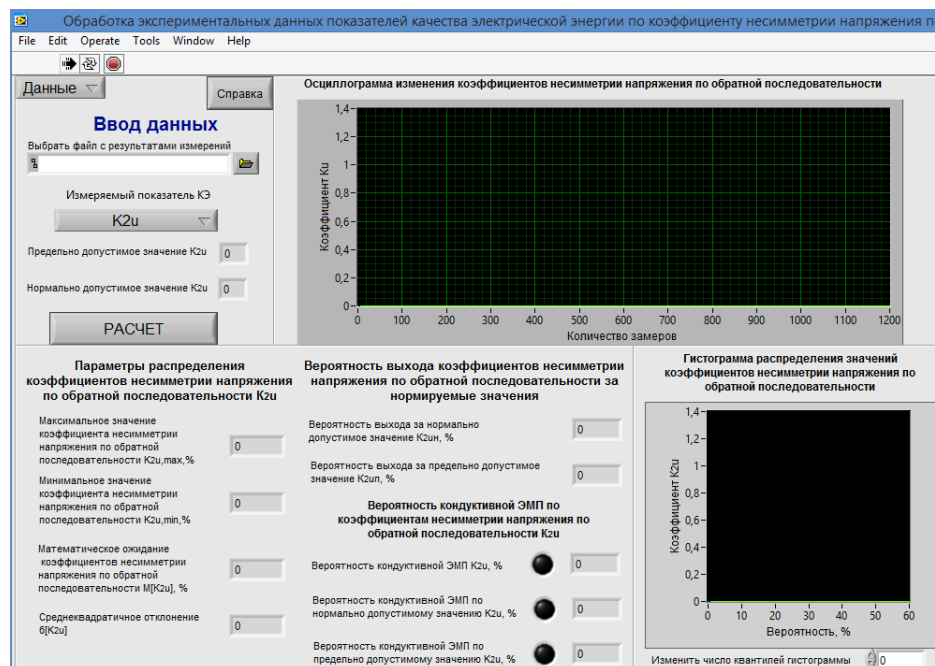


Рисунок 3 – Интерфейс программы для ЭВМ «Обработка экспериментальных данных показателей качества электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности»

сы (например, ИВК Омск-М), с помощью которых можно получить массив данных, принадлежащие генеральной совокупности. В данных ИВК применяют математико-статистические методы оценки генеральной совокупности с помощью выборочной. Причем выборочный контроль может быть как одноступенчатым, так и многоступенчатым, что повышает надежность обследования.

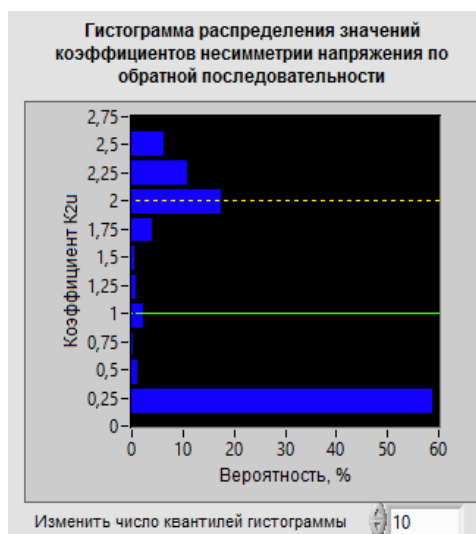


Рисунок 4 – Гистограмма распределения значений K_{2u}

После получения массива данных, он вводится в программу для ЭВМ, которая обрабатывает данные согласно остальным пунктам алгоритма, а именно: с помощью гистограммы определяет закон распределения значений δK_{2u} как случайной величины теории вероятностей и математической статистики (рисунок 4); рассчитывает параметры закона распределения случайной величины δK_{2u} , такие как математическое ожидание $M[\delta K_{2u}]$ и среднеквадратичное отклонение $\sigma[\delta K_{2u}]$ (рисунок 5); определяет вероятности появления исследуемой помехи $P(\delta K_{2u})$ за расчётный период (рисунок 6).

На данный алгоритм и программу получены авторские свидетельства о регистрации электронного ресурса [4] и регистрации программы для ЭВМ [5].

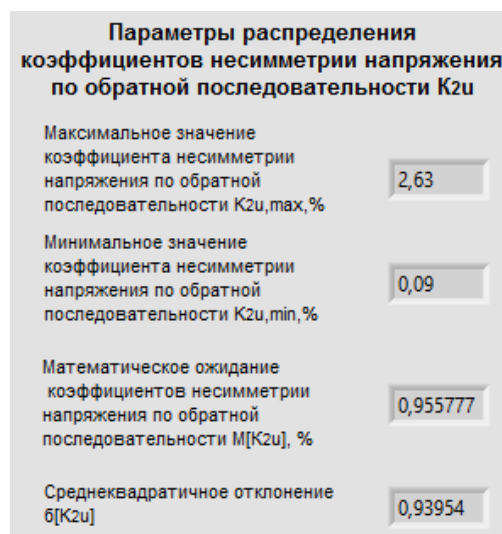


Рисунок 5 – Параметры распределения значений



Рисунок 6 – Вероятность выхода K_{2u} за нормируемые значения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - Введ. 01-07-2014. - М.: Стандартинформ, 2014. - 20 с.
- Пугачёв, В.С. Теория вероятностей и математической статистики / В.С. Пугачёв. - М.: Наука, 1979. - 478 с.
- Данилов, Г.А. Повышение качества функционирования линий электропередачи / Г.А. Данилов, Ю.М. Денчик, М.Н. Иванов, Г.В. Ситников. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2013. - 559 с.
- Антонов, А.И. Алгоритм определения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной

REFERENCES

- GOST 32144-2013. Electric power. Electromagnetic compatibility of technical devices. Power quality standards in general purpose power supply systems [Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoi energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya]. Moscow. Standartinform Publ. 2014. 20 p.
- Pugachev B.C. Theory of Probability and Mathematical Statistics [Teoriya veroyatnostei i matematicheskoi statistiki]. Moscow. Nauka Publ. 1979. 478 p.
- Danilov G.A., Denchik Yu.M., Ivanov M.N., Sitnikov G.V. Improving the performance of power transmission lines [Povyshenie kachestva funktsionirovaniya linii elektroperedachi]. Novosibirsk. Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. Publ. 2013. 559 p.
- Antonov A.I., Denchik Yu.M., Zubanov D.A., Zubanova N.V., Ivanov D.M., Ruppel' A.A., Sal'nikov V.G. Algorithm for determining the conductive low-frequency electromagnetic interference by the voltage un-

последовательности / А.И. Антонов, Ю.М. Денчик, Д.А. Зубанов, Н.В. Зубанова, Д.М. Иванов, А.А. Руппель, В.Г. Сальников // -Хроники объединного фонда электронных ресурсов наука и образование. -2017. - №12(103). -С. 125.

5 Государственная регистрация программы для ЭВМ RU2016661752. Обработка экспериментальных данных показателей качества электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности / А.И. Антонов, Ю.М. Денчик, Д.А. Зубанов, Н.В. Зубанова, Д.М. Иванов, А.А. Руппель, В.Г. Сальников. -№2016619225; заявл. 30.08.16; опубл. 20.11.16, Бюл. 11. -1 с.

balance coefficient in reverse sequence [Algoritm opredeleniya konduktivnoi nizkочастотной elektromagnitnoi pomekhi po koeffitsientu nesimmetrii napryazheniya po obratnoi posledovatel'nosti]. *Khroniki ob"edinnogo fonda elektronnykh resursov nauka i obrazovanie*. 2017. No. 12(103). pp. 125.

5 Antonov A.I., Denchik Yu.M., Zubanov D.A., Zubanova N.V., Ivanov D.M., Ruppel' A.A., Sal'nikov V.G. State registration of the computer program [Gosudarstvennaya registratsiya programmy dlya EVM] RU2016661752 Processing of experimental data of electric power quality indicators using the voltage unbalance factor in reverse sequence. [Obработка eksperimental'nykh dannykh pokazatelei kachestva elektricheskoi energii po koeffitsientu nesimmetrii napryazheniya po obratnoi posledovatel'nosti]. Moscow. Fed. Inst. of Ind. Property Publ. 2016. Vol. 11. 1 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

несимметрия напряжения, качество электроэнергии, электромагнитная помеха, электромагнитная совместимость, алгоритм

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Антонов Александр Игоревич, старший преподаватель ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, ведущий инженер ООО «Вымпелсетьстрой»
Зубанов Дмитрий Александрович, старший преподаватель ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Зубанова Наталья Валерьевна, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Иванова Елена Васильевна, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Руппель Александр Александрович, докт. техн. наук, профессор ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

Сальников Василий Герасимович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
644099, г.Омск, ул.И.Алексеева, 4, ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «СГУВТ»
117105, г.Москва, ул.Варшавское шоссе, 35, ООО «Вымпелсетьстрой»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ВИБРАЦИЯ ПРОВОДОВ И ТРОСОВ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Л.В. Пахомова, К.С. Мочалин, В.В. Пахомова

VIBRATIONS OF CONDUCTORS AND OVERHEAD SHIELD WIRES

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Lyudmila V. Pakhomova (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

Konstantin S. Mochalin (Ph.D. of Engineering Sciences, Senior Lecturer of SSUWT)

Valeriya V. Pakhomova (Student of SSUWT)

ABSTRACT: Authors performed an overview of devices for reducing the conductors' vibration in overhead power lines.

Keywords: vibration, conductor, movements, vibration damper

Выполнен обзор устройств для снижения вибрации проводов воздушных линий электропередач.

Причиной вибрации проводов являются чередующие срывы вихрей воздуха. Отрыв вихря в нижней части вызывает появление кругового потока с подветренной стороны, причем скорость потока v в точке А становится больше, чем в точке В (рисунок 1). В результате появляется вертикальная составляющая давления ветра. При совпадении частоты образования вихрей с одной из частот собственных колебаний натянутого провода последний начинает колебаться в вертикальной плоскости. При этом одни точки больше всего отклоняются от положения равновесия, образуя пучность волны, а другие — остаются на месте, образуя так называемые узлы. В узлах происходят только угловые перемещения провода. Такие колебания провода с амплитудой, не превышающей 0,005 длины полуволны или двух диаметров провода, называются вибрацией [1].

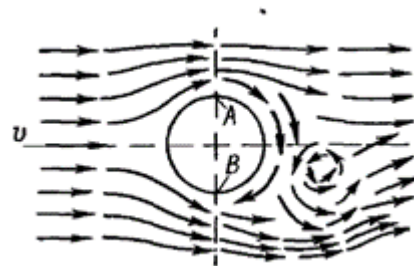


Рисунок 1 – Образование вихря за проводом

Наиболее опасная вибрация возникает от воздействия на провод поперечно (или под углом) направленного аэродинамического потока со скоростью от 0,6 до 7 м/с (вызывает низкочастотные колебания с частотой от 3 до 10 Гц), так как при более высоких скоростях ветра поток становится турбулентным и энергия ветра, поступающая к проводу, значительно снижается. К тому же самодемпфирование провода возрастает за счет увеличения частоты колебаний провода [2].

Без должной защиты вопрос повреждения проводов и тросов от вибрации это только вопрос времени. Повреждение проводов и грозотросов происходит в местах подвески и их соединения (поддерживающие и натяжные зажимы, соединители типа СОАС, САС), так как эти места являются концентраторами напряжений (по аналогии с курсом сопротивления материалов – местами заделки), а так же в тех местах, где разрушены гасители вибрации (рисунок 2).

Опыт эксплуатации показывал, что типовые гасители вибрации типа ГВН, ГПГ, ГПС в том числе установка двойных гасителей, не эффективны в борьбе с повышенной вибрацией. Все разрушения имели место вблизи поддерживающих зажимов, гасителей вибрации, а иногда в точках выхода провода из соединительных зажимов. Именно в этих местах знакопеременные механические напряжения от вибрации имеют наибольшую величину.

За зимний период 1998-1999 гг. в Северных электрических сетях имело место около 60 отказов воздушных линий (ВЛ) из-за обрыва проводов ВЛ различных классов напряжения. Подавляющее количество аварий было зафиксировано при понижениях температуры (ниже -40°C) и, соответственно, при повышенных тяжениях. Осмотры показали, что все разрушения произошли в местах, где провод был уже ослаблен усталостными разрушениями от вибрации, как в алюминиевых, так и в стальных повивах.

Начиная с 1999 г. ведется работа по усилению проводов и грозозащитных тросов с использованием защитных спиральных протекторов типа ПЗС (рисунок 3).



Рисунок 2 – Места подвески на примере линии электропередач

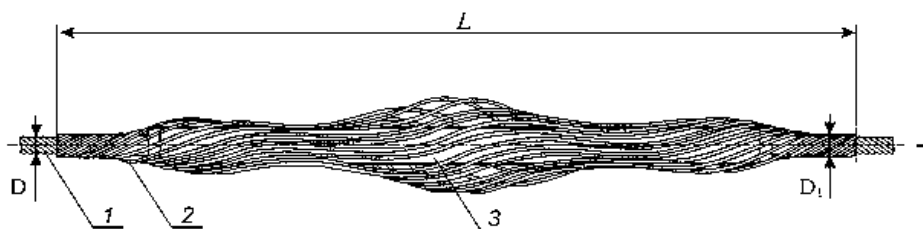


Рисунок 3 – Протектор типа ПЗС для защиты проода в соединительном зажиме

Дальнейшим логическим развитием удачной идеи спиральной арматуры, стало полного спектра спиральной арматуры (поддерживающей, натяжной, соединительной, шлейфовой и пр.) представленный на рисунке 4 [3].

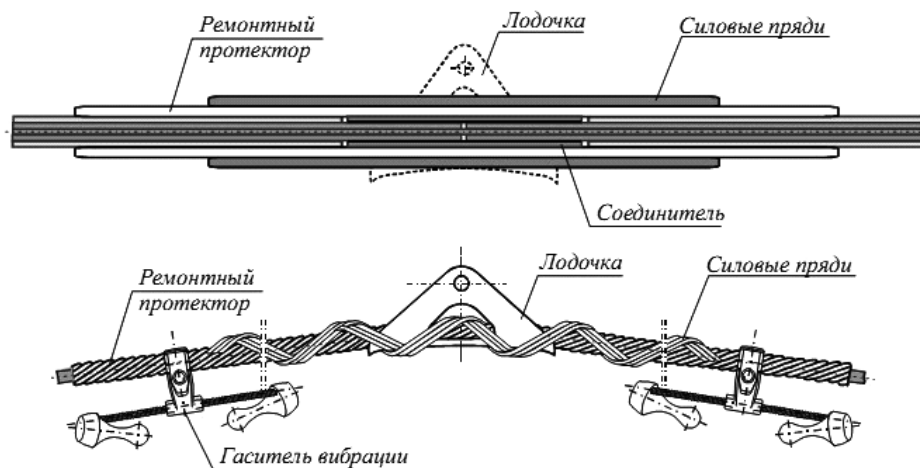


Рисунок 4 – Протектор ПС-15,4П-31

На линиях напряжением 35-330 кВ обычно устанавливаются виброгасители, выполненные в виде двух грузов, подвешенных на стальном тросе (рисунок 5).

Виброгасители поглощают энергию вибрирующих проводов и уменьшают амплитуду вибрации около зажимов. Виброгасители должны быть установлены на определенных расстояниях от зажимов, определяемых в зависимости от марки и напряжения провода.

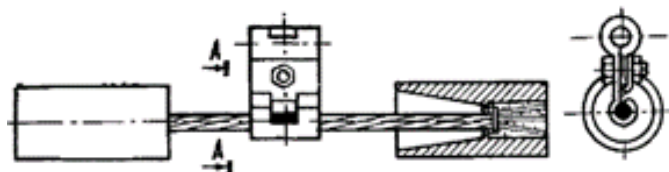


Рисунок 5 – Виброгаситель с двумя грузами на проводе

Разработка вопросов снижения вибрации всех видов является необходимой мерой повышения надежности работы линии электропередач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Проблемы повышенной вибрации и "пляски" проводов. -Режим доступа: <http://ruscable.ru>. - 05.02.2018.
- 2 Проблемы повышенной вибрации и "пляски" проводов. -Режим доступа: <http://clocplayer.ru>. - 05.02.2018.
- 3 Рыжов, С.В. Опыт применения спиральной арматуры на ВЛ / С.В. Рыжов, Ю.Л. Цветков // Опыт, устремленный в будущее: сб. научн. тр. -Новосибирск: Изд-во Электросетевой проект, 2013. -С. 18-21.

REFERENCES

- 1 Problems of increased conductor vibration and gallop [Problemy povyshennoi vibratsii i "plyaski" provodov]. -URL: <http://ruscable.ru>. -05 Feb. 2018.
- 2 Problems of increased conductor vibration and gallop [Problemy povyshennoi vibratsii i "plyaski" provodov]. -URL: <http://clocplayer.ru>. -05 Feb. 2018.
- 3 Ryzhov S.V., Tsvetkov Yu.L. Overhead power line conductor protection using the spiral armor rod [Opyt primeneniya spiral'noi armatury na VL]. Opyt, ustremlyennyy v budushchee. Novosibirsk. Elektroset'stroiproekt Publ. 2013. pp. 18-21.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вибрация, провод, колебания, виброгаситель

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Пахомова Людмила Владимировна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Мочалин Константин Сергеевич, канд. техн. наук, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Пахомова Валерия Валерьевна, студент ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УВЕЛИЧЕНИЯ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ ОТ ВЫСШИХ ГАРМОНИК

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

В.З. Манусов, В.В. Хрипов, В.В. Фролова

COMPARATIVE ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS FOR DETERMINING THE COEFFICIENT OF INCREASING THE ACTIVE RESISTANCE OF CONDUCTORS FROM HIGHER HARMONICS

Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630092, Russia

Vadim Z. Manusov (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of NSTU)

Viktor V. Khripkov (Master's Degree of NSTU)

Veronika V. Frolova (Graduate student of NSTU)

ABSTRACT: The article shows the influence of the higher harmonic components of the alternating current on the increase in the active resistance of electrical conductors due to the surface effect caused by the displacement of current to the surface of the conductor, the so-called skin-effect. Authors performed comparative analysis of various mathematical models and determined the coefficients of increasing the active resistance of the conductors with respect to the ohmic resistance. The use of the obtained coefficients allows to calculate more correctly and reliably the losses of active power in electric networks and power supply systems.

Keywords: alternating current, higher harmonics, active conductor resistance, skin-effect

Показано влияние высших гармонических составляющих переменного тока на увеличение активного сопротивления токопроводящих жил кабелей и проводов за счет поверхностного эффекта, обусловленного вытеснением тока к поверхности проводника, так называемый скин-эффект. Выполнен сравнительный анализ различных математических моделей, на основе которых определены коэффициенты увеличения активного сопротивления проводников по отношению к омическому сопротивлению. Использование полученных коэффициентов позволяет более корректно и достоверно рассчитывать потери активной мощности в электрических сетях и системах электроснабжения.

Одной из существенных причин недостоверности вычисления потерь активной мощности является искажение синусоидальности кривой питающего тока и напряжения. Это обстоятельство обусловлено тем, что потребители электрической энергии в настоящее время включают в себя нелинейные электрические приемники с нелинейной вольт-амперной характеристикой. В свою очередь несинусоидальность кривых тока и напряжения связано с появлением высших гармонических составляющих по отношению к номинальной частоте $f = 50$ Гц.

Необходимо решить следующие задачи:

- дать анализ моделей учета поверхностного эффекта вытеснения тока международной электротехнической комиссии и других авторов;
- измерить спектр частот высших гармоник, в результате экспериментальных исследований;
- выполнить сравнительный анализ увеличения сопротивлений при расчете по различным методикам;
- определить коэффициенты увеличения сопротивлений проводников с повышением частоты по сравнению с омическим и активным сопротивлением при номинальной частоте $f = 50$ Гц.

Источниками высших гармоник являются электрические приемники с нелинейной вольт-амперной характеристикой. Состав потребителей электроэнергии, имеющих нелинейную характеристику, в значительной мере зависит от типа промышленного предприятия. На металлургических заводах основным источником гармоник являются вентильные преобразователи, которые относятся к мощным концентрированным источникам высших гармоник тока, установленная мощность которых достигает 80-90% мощности всего электрооборудования. Для питания электродвигателей современных непрерывных станов горячей прокатки также применяются преобразователи с единичной мощностью до 20 МВт.

В настоящее время преобразователи широко применяются для электрифицированного внутризаводского транспорта [1].

Кроме того, на многих предприятиях широко применяются установки электродуговой и контактной сварки с преобразователями в качестве источников питания. Сварочные выпрямители питаются в основном от сетей 0,38 кВ. Мощность сварочных машин для автоматической сварки однофазным током промышленной частоты достигает 1,5 МВА, для сварки трехфазной дугой – нескольких МВА. В некоторых цехах автомобильных и машиностроительных предприятий доля сварочных машин может достигать 80% всей электрической нагрузки [2].

Модели учета поверхностного эффекта вытеснения тока. При протекании переменного тока по жилам проводов и кабелей в них наблюдается скин-эффект – вытеснение тока к поверхности проводника. Особенно это явление проявляет себя при протекании по сети высших гармонических составляющих, основным источником которых являются нелинейные вольт-амперные характеристики, о которых говорилось выше. В настоящее время в распределительных сетях низкого и среднего напряжений для передачи электроэнергии используются в основном системы самонесущих изолированных проводов (СИП) и кабельные линии. Обе конструкции основаны на сближение проводов фаз.

В литературе описаны различные методы учета скин-эффекта, которые основаны от фундаментальной формулы Умова-Пойнтинга.

– Международная электротехническая комиссия (МЭК) рекомендует следующую формулу [3]

$$R_n(\nu) = R(1 + y_n + y_\delta), \quad (1)$$

где $R_n(\nu)$ – сопротивление проводника на частоте ν для n гармоники;

y_n – коэффициент, учитывающий поверхностный эффект;

y_δ – коэффициент, учитывающий эффект близости проводников.

Значение y_n предлагается рассчитывать по формуле

$$y_n = \frac{x^4}{192 + 0,8x^4}, \quad (2)$$

или определять графически в зависимости от параметра x , который равен

$$x = \sqrt{\frac{8\pi f k}{R}} 10^{-7}, \quad (3)$$

где k – экспериментальный коэффициент, $k = 1$ [3], зависящий от конструкции токопроводящей жилы;
 R – сопротивление токопроводящей жилы постоянному току при максимально допустимой температуре $T_{\max}$

$$R = \frac{\rho [1 + \alpha (T_{\max} - 20)] (1 + k_0)}{F}, \quad (4)$$

ρ – удельное сопротивление проводника постоянному току при 20 °С, Ом·м;
 α – температурный коэффициент сопротивления, 1/°С;
 k_0 – коэффициент скрутки [4];
 $T_{\max}$ – максимальная рабочая температура, определяется типом используемой изоляции, установленная стандартом или техническими условиями на конкретный тип кабеля, °С;
 F – сечение проводника, м².

Значение y_6 для трехжильных или трех одножильных кабелей определяется как

$$y_6 = \frac{x_6^4}{192 + 0,8x_6^4} \left(\frac{d_c}{s} \right)^2 \left[0,312 \left(\frac{d_c}{s} \right)^2 + \frac{1,18}{\frac{x_6^4}{192 + 0,8x_6^4} + 0,27} \right]; \quad (5)$$

$$x_6 = \sqrt{\frac{8\pi f k_p}{R}} 10^{-7}, \quad (6)$$

где d_c – диаметр жилы, мм;
 s – расстояние между осями жил, мм;
 k_p – экспериментальный коэффициент, $k_p = 0,8$ [3].

– Увеличение активного сопротивления с повышением частоты можно определить упрощенно [1]

$$R(v) = R_0 \sqrt{v}, \quad (7)$$

где R_0 – омическое сопротивление проводника;
 v – номер гармоники.

Иначе говоря, предполагается, что омическое сопротивление проводника увеличивается пропорционально корню квадратному из частоты.

– В [5] для учета зависимости сопротивления провода от частоты предложено следующие выражение

$$\frac{R(v)}{R_0} = k_{nv} + k_{6v}, \quad (8)$$

где k_{nv}, k_{6v} – коэффициенты поверхностного эффекта и эффекта близости. Эти коэффициенты имеют тот же физический смысл, что и коэффициенты y_n, y_6 в формуле МЭК [3].

Значение k_{6v} для кабельных линий определяется

$$k_{6v} = 0,59 \frac{k_{nv} - 1}{k_{nv} - 0,73}. \quad (9)$$

Значение k_{nv} вычисляется

$$k_{nv} = \begin{cases} 1 + x^4 & \text{при } x \leq 1 \\ x + 0,26 + \frac{0,47}{x} & \text{при } x \geq 1 \end{cases}, \quad (10)$$

где x – промежуточный параметр

$$x = 0,128 \sqrt{\frac{v}{R_0}}.$$

– Авторами данной статьи предлагается принять зависимость сопротивления от частоты, как кубический корень из частоты

$$R(\nu) = R_0 \sqrt[3]{\nu} . \quad (11)$$

При этом как показано ниже расчеты облегчаются без потери точности.

Анализ спектра частот для реальной электрической сети. В ходе проведенных исследований, измерены значения высших гармоник для реальной электрической сети. Установлено, что для данной сети с вероятностью близкой к единице преобладают традиционные гармоники 1, 3, 5, 7, 9, 11, с вероятностью около 0,5 гармоники 13, 15, 25 и весьма нехарактерные четные гармоники 2 и 26 с вероятностью 0,3. Остальные гармоники являются случайными и в дальнейшем не рассматриваются. Спектр измеренных гармонических составляющих напряжений и токов представлен на рисунке 1

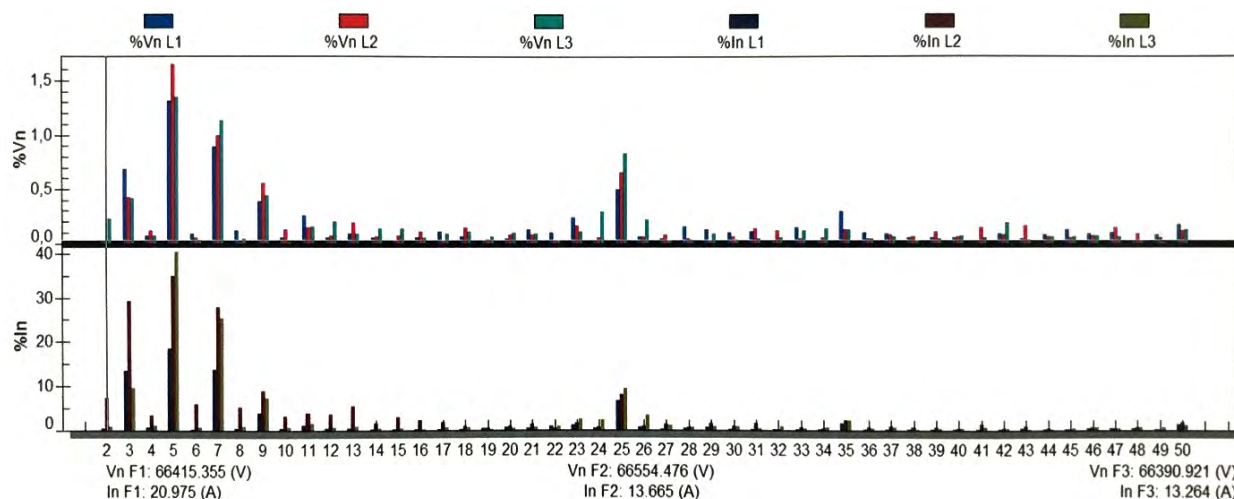


Рисунок 1 – Спектр высших гармоник

Для наиболее часто встречающихся гармоник были определены коэффициенты увеличения сопротивления от частоты на основе указанных выше математических моделей. Так как формулы «работают» по-разному для проводов различных сечений в качестве базовых выбраны сечения 120 мм², 240 мм², 300 мм², 400 мм².

Относительный коэффициент увеличения сопротивления от частоты гармонических составляющих определен, как отношение

$$k_f = \frac{R(\nu)}{R_0} . \quad (12)$$

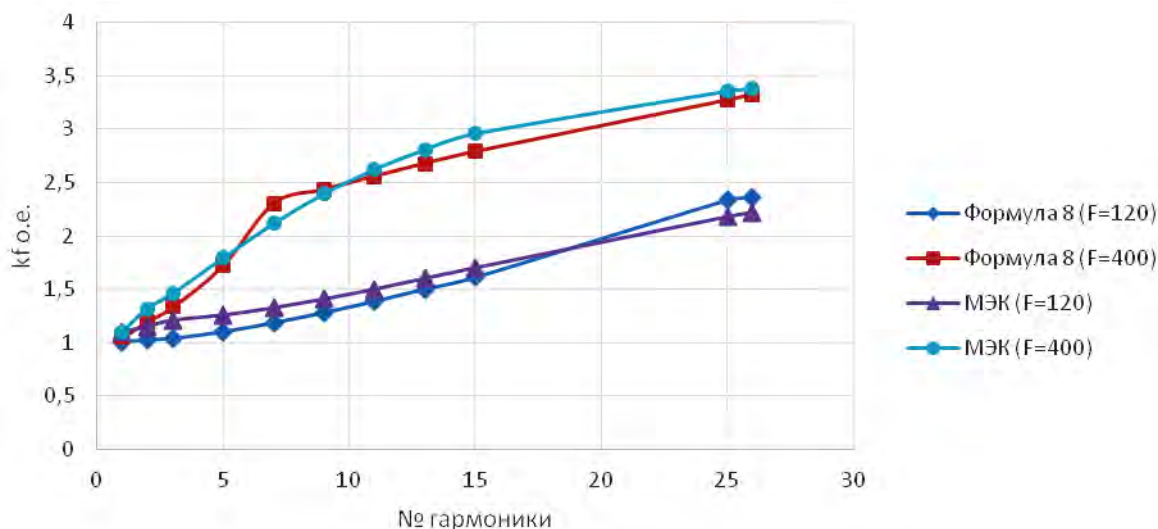


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента увеличения сопротивления от частоты гармоник

Видно, что зависимости по формулам (1) и (8) хорошо совпадают на всем спектре частот гармонических составляющих. Упрощенная модель, основанная на корне квадратном из частоты, является малоприменимой.

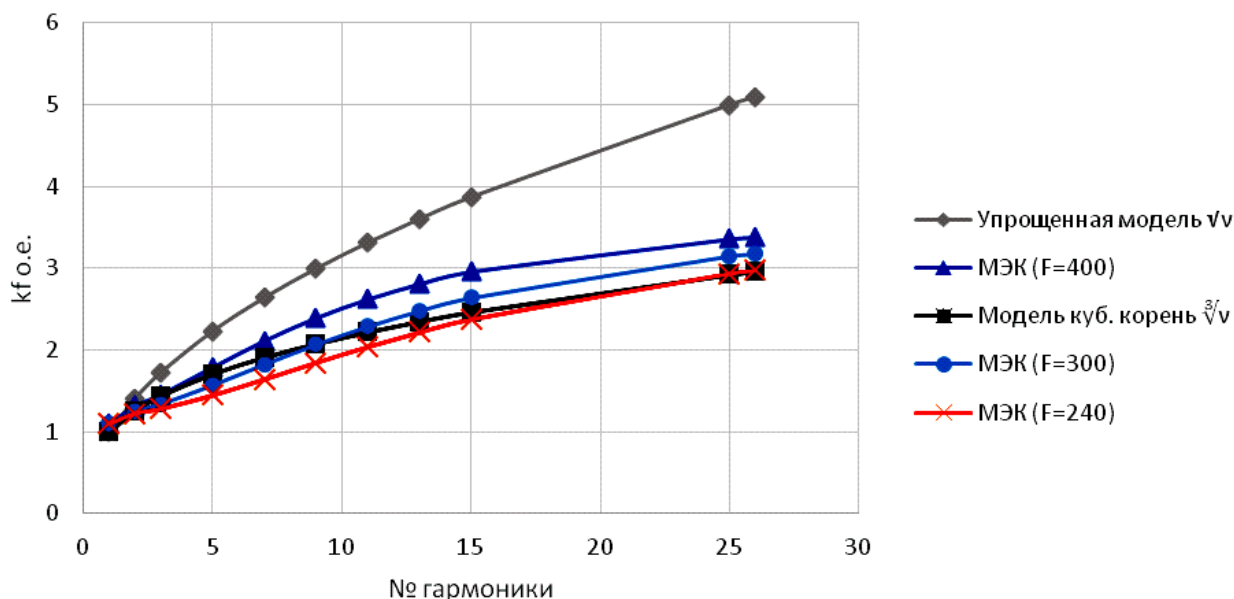


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента увеличения сопротивления от частоты гармоник по предложенной модели

Выводы. Показано, что математические модели, основанные на выражениях (1) и (8) дают достаточно близкие результаты и поэтому целесообразно использовать формулу МЭК для сближенных проводов СИП и кабелей для всех сечений. Модель, основанная на квадратичной зависимости сопротивления от частоты является достаточно грубым приближением и, начиная с 5 гармоники, дает значительную погрешность. Предложенная авторами формула, основанная на кубической зависимости, отличается достаточной простотой и позволяет получить результаты, практически совпадающие с математической моделью МЭК во всем диапазоне сечений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий / И.В. Жежеленко И.В. -М.: Энергоатомиздат, 2010. -375 с.
- 2 Жежеленко, И.В. Избранные вопросы нелинейности режимов в электрических сетях предприятий: монография / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко, Т.К. Бараненко, А.В. Горпинич, В.В. Нестерович. -М.: Энергоатомиздат, 2007. -296 с.
- 3 ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2009. Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Ч. 1-1. Уравнения для расчета номинальной токовой нагрузки (100%-й коэффициент нагрузки) и расчет потерь. Общие положения. –Введ. 01-01-2010. -М.: Стандартинформ, 2009. -29 с.
- 4 Ларина, Э.Т. Силовые кабели и кабельные линии: учеб. пособие для вузов / Э.Т. Ларина. -М.: Энергоатомиздат, 1984. -368 с.
- 5 Гераскин, О.Т. Применение вычислительной техники для расчета высших гармоник в электрических сетях / О.Т. Гераскин, В.В. Черепанов. -М.: ВИПКЭнерго, 1987. -53 с.

REFERENCES

- 1 Zhezhelenko I.V. Higher harmonics in power supply systems of enterprises [Vysshie garmoniki v sistemakh elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatiy]. Moscow. Energoatomizdat Publ. 2010. 375 p.
- 2 Zhezhelenko I.V., Saenko Yu.L., Baranenko T.K., Gorpnich A.V., Nesterovich V.V. Selected issues in non-sinusoidal regimes in power networks of enterprises [Izbrannye voprosy nesinusoidal'nosti rezhimov v elektricheskikh setyakh predpriyatiy]. Moscow. Energoatomizdat Publ. 2007. 296 p.
- 3 IEC 60287-1-1 [GOST R MEK 60287-1-1-2009]. Electric cables. Calculation of the current rating. Part 1-1. Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses. General [Kabeli elektricheskikh. Raschet nominal'noi tokovoi nagruzki. Ch. 1-1. Uravneniya dlya rascheta nominal'noi tokovoi nagruzki (100%-i koeffitsient nagruzki) i raschet poter'. Obshchie polozheniya]. Moscow. Standartinform Publ. 2009. 29 p.
- 4 Larina E.T. Underground power cables: textbook for colleges and universities [Silovye kabeli i kabel'nye linii]. Moscow. Energoatomizdat Publ. 1984. 368 p.
- 5 Geraskin O.T., Cherepanov V.V. The use of computer technology for the calculation of higher harmonics in power networks [Primenenie vychislitel'noi tekhniki dlya rascheta vysshikh garmonik v elektricheskikh setyakh]. -Moscow. VIPKEnergo Publ. 1987. 53 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: переменный ток, высшие гармоники, активное сопротивление проводников, поверхностный эффект

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор НГТУ
Хрипов Виктор Владимирович, магистрант НГТУ

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Фролова Вероника Владимировна, аспирант НГТУ
630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ МЕГАПОЛИСА

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

Таджикский технический университет им. М.С. Осими

В.З. Манусов, Д.С. Ахъёев, А.К. Киргизов

OPTIMIZATION OF URBAN POWER NETWORK REGIMES IN METROPOLITAN CITY

Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi (TTU) 10, Ac. Rajabovho St., Dushanbe, 734042, Tajikistan

Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630092, Russia

Vadim Z. Manusov (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of NSTU)

Dzhavod S. Ahyoev (Graduate student of NSTU)

Alifbek K. Kirgizov (Ph.D. of Engineering Sciences, Senior Lecturer of TTU)

ABSTRACT: This paper considers the problem of optimization the urban electrical networks regimes in order to improve the quality of electrical power service and to reduce losses of active and reactive power in power networks and household power consumers. Optimization is carried out by choosing the location and capacity of individual sources of reactive power in 10 kV networks by the algorithm of Swarm intelligence, namely, particles swarm optimization.

Keywords: optimization, urban power networks, metropolis, reactive power, active power losses, particles swarm method

Рассмотрена задача оптимизации режимов городских электрических сетей больших городов и мегаполисов с целью повышения качества электрической энергии и снижения потерь активной и реактивной мощности в электрических сетях и бытовых электроприемников потребителей. Оптимизация осуществляется с помощью выбора мест размещения и мощности отдельных источников реактивной мощности в сетях 10 кВ алгоритмом роевого интеллекта, а именно роя частиц.

Задачи оптимизации режимов городских электрических сетей состоят в определении установившегося режима электрической сети, при котором выдержаны технические ограничения по качеству электрической энергии и минимальные суммарные потери активной мощности в сети. В распределительных сетях выделяют три основных задачи оптимизации режимов, каждый из которых требует своего метода оптимизации: выбор оптимального размещения и мощности источников реактивной мощности, оптимизация коэффициентов трансформации и выбор оптимальных точек размыкания контуров. При этом учитываются ограничения по отклонениям напряжений во всех узлах. Оптимизация по реактивной мощности сводится к определению наилучших мест установки и выбор величины мощности компенсирующих устройств (КУ).

Постановка задачи. Исключительно важной особенностью устойчивого развития городов и мегаполисов является все большее электропотребление не только активной мощности, но и реактивной мощности, которая необходима для использования в электробытовых приборах. Принцип действия, которых основан на применении электромагнитных полей. Увеличение потребления реактивной мощности в городской среде обусловлено в основном тремя факторами:

- быстрый рост городского населения и территории городов;
- увеличение числа бытовых электроприборов у населения с использованием электродвигателей, а именно стиральных машин, холодильников, кондиционеров, посудомоечных машин, пылесосов, вентиляторов, насосов, а также индукционных печей;
- существенное увеличение протяженности и длины городских линий электропередачи.

В работе предпринята попытка решения двух задач и их последующего объединения. На первом этапе рассматривается расчет установившегося режима при заданных параметрах сети и нагрузках. На втором использован алгоритм роевого интеллекта, на каждом шаге которого осуществляется обращение к значению целевой функции, определяемой в первой задаче.

Математическая модель. Выбор математической модели для решения оптимизационной задачи энергоснабжения для устойчивого развития городов, определяется тем, что задача содержит дискретные переменные и может содержать несколько локальных минимумов, из которых нужно выбрать глобальный. Широко применяемые градиентные методы для этой задачи мало подходят, из-за того, что требуют взятия производных, и, следовательно, дифференцируемости функций, то есть их непрерывности. В данной задаче это требование

не соблюдается, кроме того для больших городов с большим количеством присоединений система уравнений имеет большую размерность, а при устойчивом развитии городов «проклятие размерности» возрастает в квадратичной степени. В связи с этим в работе выбран более эффективный метод дискретной оптимизации с возможностью определения глобального минимума – метод роевого интеллекта.

Целями оптимизации являются минимизация потерь активной мощности и минимизация расходов на КУ. При этом рекомендованное значение $\operatorname{tg} \varphi$ для сетей 10 кВ $\operatorname{tg} \varphi = 0,4$. Задача оптимизации состоит в следующем

$$W(Q) = W_{\Delta P}(Q) + W_{KY}(Q) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $W_{\Delta P}$ – финансовые потери активной мощности;

W_{KY} – финансовые затраты на установку КУ.

$$W_{\Delta P} = c_p \tau \Delta P_{\Sigma}; W_{KY} = c_q \sum_{i=1}^n Q_i,$$

где Q – вектор мощностей КУ;

Q_i – мощность КУ в i -ом узле;

n – количество узлов с КУ;

τ – время максимальных потерь;

ΔP_{Σ} – суммарные потери активной мощности в сети.

При ограничениях $0 < Q_i < Q_{\max i}; i = 1, \dots, n; 0 \leq \operatorname{tg} \varphi \leq 0,4$.

Для решения задачи выбран фрагмент городской сети, состоящей из 36 узлов и 48 ветвей (рисунок 1).

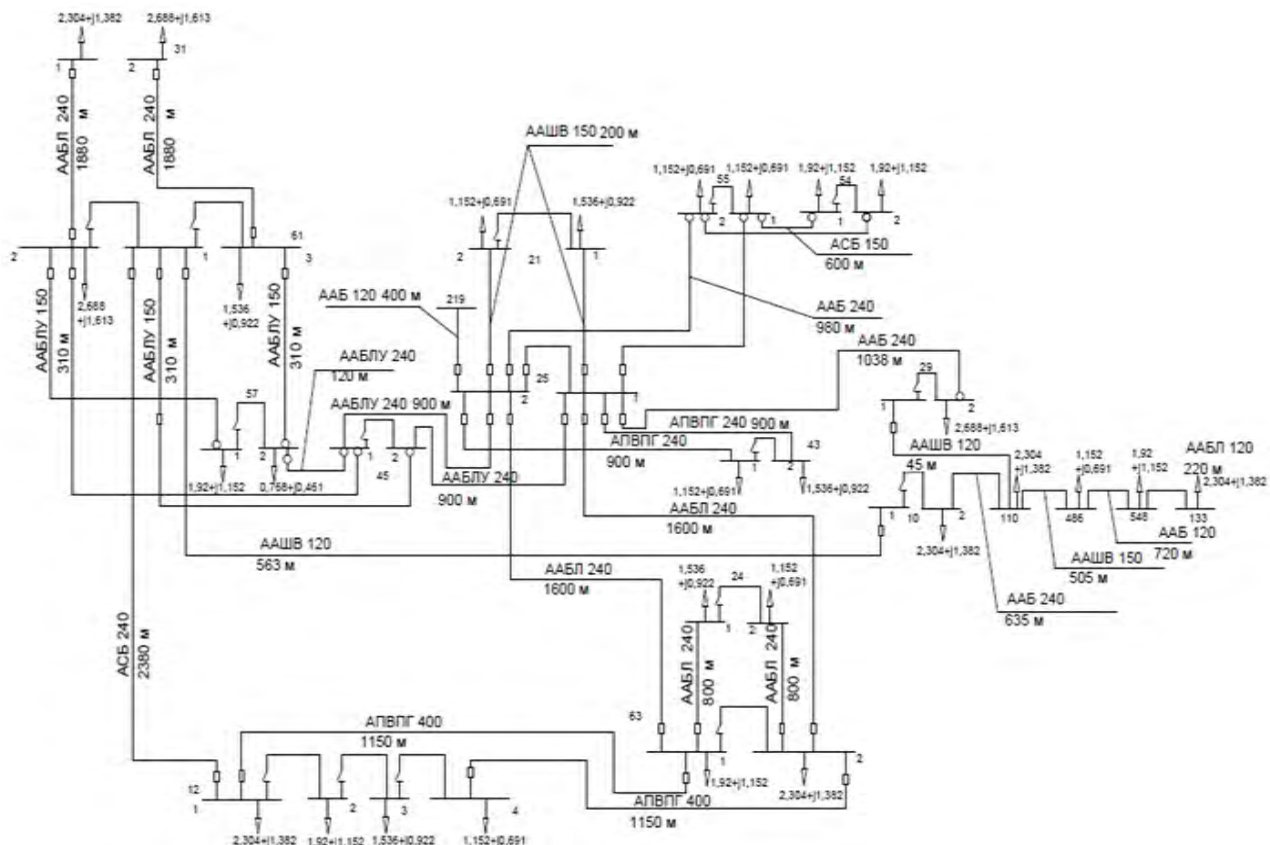


Рисунок 1 – Фрагмент электрической распределительной сети

Оптимизация режимов электрической сети. Проектная постановка задачи. Оптимизация выполнена с помощью алгоритма на основе роевого интеллекта. Получаем оптимальное распределение источников реактивной мощности и определяем величину реактивной мощности в узлах. Зададим параметры необходимые для оптимизации: стоимость электроэнергии за 1 кВт·ч, примем $\beta = 2,6$ руб., стоимость 1 кВАр установленной мощности

$Q = 550$ руб. Полученные значения установленной мощности КУ сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Максимальная установленная реактивная мощность КУ в узлах

№ узла	$Q_{КУР}$, МВАр	$Q_{\max, \text{уч}}$, МВАр
133	1,244	1,250
241	1,452	1,45
571	1,037	1,000
572	0,412	0,400
542	0,716	0,700
121	1,217	1,200
311	1,244	1,250
312	1,451	1,450

Суммарные потери активной мощности $\Delta P = 0,888$ МВт;

Необходимая величина компенсируемой реактивной мощности $Q = 7,886$ МВАр.

Эксплуатационная постановка задачи. Отличительной особенностью от проектной задачи, рассмотренной выше, являются ограничения, накладываемые на КУ, а именно на величину установленной мощности.

Оптимальные значения реактивной мощности в узлах при минимуме потерь активной мощности и ограниченном $\text{tg } \varphi$ сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Эксплуатационная задача оптимизации

№ узла	P_H , МВт	Q_H , МВАр	$Q_{КУ}$, МВАр	$\text{tg } \varphi_{\text{есм}}$, о.е	$\text{tg } \varphi_{\text{онм}}$, о.е
133	2,304	1,382	1,244	0,59	0,05
241	2,688	1,613	1,430	1,19	0,12
571	1,920	1,152	1,000	0,60	0,08
572	0,768	0,461	0,400	0,60	0,08
542	3,840	2,304	0,700	1,20	0,83
121	2,304	1,382	1,200	0,59	0,08
311	2,304	1,382	1,250	0,59	0,08
312	2,688	1,613	1,450	0,60	0,06

Суммарные потери активной мощности $\Delta P = 0,883$ МВт;

Необходимая величина компенсируемой реактивной мощности $Q = 8,667$ МВАр.

Таким образом, в условиях реальной эксплуатации и выставленных ограничений по компенсирующим устройствам суммарные потери активной мощности возрастают на 0,001 МВт, т.е. на 1 кВт. Но при этом несколько сокращается мощность устанавливаемых батарей, при округлении значений их мощности в меньшую сторону на 106 кВАр.

Выводы. Доказано, что в результате оптимизации наилучший вариант по минимуму потерь требует установки КУ мощностью $Q = 8,773$ МВАр. Потери суммарной активной мощности снижаются с 1,063 до 0,882 МВт, что составляет 7,7%. Срок окупаемости мероприятия по оптимизации реактивной мощности составляет 1,6 года. Таким образом, компенсация реактивной мощности в городских электрических сетях вполне целесообразна, рентабельна и существенно улучшает технико-экономические показатели электросетевых предприятий и способствует устойчивому развитию городов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- 1 Manusov, V.Z. Optimization of Power Distribution Networks in Megacities / V.Z. Manusov, P.V. Matrenin, J.S. Ahyoev, L.S. Atabaeva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. -2017. -Vol. 72. 8 p. -DOI: 10.1088/1755-1315/72/1/012019.
- 2 Manusov, V.Z. Implementation of Population Algorithms to Minimize Power Losses and Cable Cross-Section in Power Supply System / V.Z. Manusov, P.V. Matrenin, E.S. Tretiakova // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). -Vol. 6, -No. 6, December 2016, pp. 2955-2961. DOI: 10.11591/ijece.v6i6.11361.
- 3 Manusov, V. Z. Construction and optimization of a power complex with a distributed generation on the basis of renewables and methods of artificial intelligence (on the example of the Republic of Tajikistan) / V.Z. Manusov, A. Kirgizov, J. Ahyoev // E3S Web of

- 1 Manusov V.Z., Matrenin P.V., Ahyoev J.S., Atabaeva L.S. Optimization of Power Distribution Networks in Megacities / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 72. 8 p. -DOI: 10.1088/1755-1315/72/1/012019.
- 2 Manusov V.Z., Matrenin P.V., Tretiakova E.S. Implementation of Population Algorithms to Minimize Power Losses and Cable Cross-Section in Power Supply System. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). Vol. 6. No. 6. December 2016. pp. 2955-2961. -DOI: 10.11591/ijece.v6i6.11361.
- 3 Manusov V.Z., Kirgizov A., Ahyoev J. Construction and optimization of a power complex with a distributed generation on the basis of renewables and methods of artificial intelligence (on the example of the Republic of Tajikistan). E3S Web of Confer-

Conferences: International Conference on Sustainable Cities (ICSC 2016). -2016. -Vol. 6. -7 p. -DOI: 10.1051/e3sconf/20160603006. | ences: International Conference on Sustainable Cities (ICSC 2016). 2016. Vol. 6. 7 p. -DOI: 10.1051/e3sconf/20160603006.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оптимизация, городские сети, мегаполис, реактивная мощность, потери активной мощности, метод роя частиц
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор НГТУ
Ахьёев Джавад Саламшоевич, аспирант НГТУ
Киргизов Алифбек Киргизович, канд. техн. наук, старший преподаватель ТТУ им. М. Осими
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ
734042, Республика Таджикистан, г.Душанбе, ул. Ак. Раджабовых, 10, ТТУ им. М. Осими

ХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЬНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ И ПОВЫШЕНИЕ ИХ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ

Тобольский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО ФГБОУ ВПО «Тюменский индустриальный университет»
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.Г. Иванова, С.Н. Реутов

CHEMICAL PROCESSING AND INCREASING THE CORROSION RESISTANCE OF STEEL ARTIFICIAL GROUNDING ELECTRODES

Tobolsk Industrial Institute (branch) Industrial University of Tyumen (The branch of IUT in Tobolsk)
5, Zona VUZov, Tobolsk, Tyumen region, 626158, Russia
Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia
Alena G. Ivanova (Lecturer of The branch of IUT in Tobolsk)
Sergei N. Reutov (Engineer of SSUWT)

ABSTRACT: The article considers technique for assessing the state of steel artificial grounding electrodes. Authors proposed chemical mixtures for corrosion products removal after measuring the depth of damage. The technique of statistical processing of measurement results is given. Chemical mixtures aimed to reduce the resistance to grounding electrodes spreading and to increase its corrosion resistance have been analyzed as well.

Keywords: electric power plants grounding device, corrosion resistance, chemical mixtures for removal of corrosion products

Рассмотрена методика оценки состояния стальных искусственных заземлителей. Предложены химические составы для удаления продуктов коррозии при измерении глубины повреждений ИЗ. Приведена методика статистической обработки результатов измерений. Проанализированы химические составы для снижения сопротивления растеканию заземлителей и повышению их коррозионной стойкости.

Согласно Правил устройства электроустановок периодический контроль состояния стальных искусственных заземлителей (ИЗ) должен производиться один раз в шесть лет путем вскрытия заземлителей.

С этой целью приходится решать следующие задачи:

- очищение стальных искусственных заземлителей от продуктов коррозии, не повреждая основной металл;
- измерение степени коррозии металлических заземлителей (шины, круглые электроды-заземлители);
- статистическую обработку результатов измерений с оценкой закона распределения случайных величин (глубины коррозии) и оценки однородности (неоднородности) различных выборок измерений;
- в случае высокоомных грунтов выбрать химические составы для снижения сопротивления растеканию искусственных заземлителей и повышения коррозионной стойкости.

Оценка фактического состояния стальных искусственных заземлителей. Контроль состояния ИЗ производится путем вскрытия заземляющих спусков и горизонтальной сетки - наиболее ответственных элементов заземляющих систем (ЗС). ЗС вскрывается не менее чем в четырех местах по периметру контура и в двух точках внутри у заземленных нейтралей трансформаторов (минимальное число измерений при определении степени коррозии ИЗ равно 16 с доверительной вероятностью 0,9).

Вскрытый ИЗ очищается от продуктов коррозии вначале механической обработкой, а затем химическим способом. Используется разбавленная (1:1) соляная кислота или состав, состоящий из равного количества щавелевой кислоты и кварцевого песка, которые замешивают

ваются с водой до пастообразного состояния. Паста раскладывается слоем в 2-3 см на полиэтиленовой пленке и в нее погружается контролируемый отрезок стальных ИЗ на 10-30 минут. На подготовленном стальном ИЗ с помощью индикатора часового типа производится измерение глубины коррозии стального ИЗ между двумя иглами (с фиксирующим устройством по оси для круглых стальных ИЗ). Полученные выборки глубины коррозии ИЗ с помощью статистических критериев [3, 4] оцениваются на однородность по средним значениям (по критерию Фишера) и дисперсиям (по критерию Бартлера).

Классификация разрушений искусственных заземлителей электроустановок. Все экспериментальные данные по коррозии ИЗ заземляющих систем проверялись на наличие статистической однородности (неоднородности). При проверке однородности коррозии ИЗ решался вопрос – принадлежат ли данные по степени коррозии различных ИЗ подстанции одной генеральной совокупности. Для этого оценивалась принадлежность выборочных дисперсий к одной и одной и той же генеральной дисперсии и однородность средних значений по выборкам.

Сравнение средних дисперсий S_1^2 , S_2^2 и т.д. производилось с помощью критерия Бартлета [3, 4]. Принималась нулевая гипотеза о равенстве выборочных дисперсий, если $B/C \leq \chi_{1-\alpha}^2$ при уровне значимости $\alpha = 0,1$.

Величина B и C определялись по формулам:

$$B = 2,303 \left(f \lg S^2 - \sum_{i=1}^K f_i \lg S_i^2 \right); \quad (1)$$

$$C = 1 + \frac{1}{3(K-1)} \left(\sum_{i=1}^K \frac{1}{f_i} - \frac{1}{f} \right). \quad (2)$$

Средневзвешенное значение дисперсии при этом определялось по формуле:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^K f_i S_i^2}{f}; \quad (3)$$

$$f = \sum_{i=1}^K f_i. \quad (4)$$

При $B \leq \chi_{0,9}^2$ нулевая гипотеза принималась.

Оценка однородности средних по выборкам производилась по квантилям распределения Фишера $F_{1-\alpha}$. В этом случае принималась нулевая гипотеза о равенстве выборочных средних, если $F_{расч} \leq F_{1-\alpha}$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Сравнение средних проводилось в предположении, что дисперсии всех выборок незначимо отличаются друг от друга.

Для m выборок имеем $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$ средних и $S_1^2, S_2^2, \dots, S_m^2$ выборочных дисперсий. Всем выборкам соответствуют $f_1, f_2, \dots, f_m$ степеней свободы ($f_i = n_i - 1$, где n_i - объем соответствующей выборки).

В качестве единого генерального среднего бралось общее среднее $\bar{X}$ из средних по отдельным выборкам. Средние по отдельным выборкам объединялись в новую выборку, для которой дисперсия $\bar{S}^2$ определялась

$$\bar{S}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m n_i (X_i - \bar{X})^2, \quad (5)$$

которой соответствует $(n_i - 1)$ степеней свободы.

По S^2 и $\bar{S}^2$ рассчитывалось распределение Фишера для $(m-1)$ и f степеней свободы.

Если $\frac{\bar{S}^2}{S^2} \leq F_{0,95}(m-1, f)$, то нулевая гипотеза считалась справедливой (таблица 1).

При $\frac{\bar{S}^2}{S^2} > F_{0,95}(m-1, f)$ средние считались неоднородными (таблица 2), то есть принадлежащим различным генеральным совокупностям.

В таблице 1 дан пример расчета однородности дисперсий и средних, а также проверка наличия грубых отклонений.

Как видно из таблицы 1, грубых отклонений нет, потому что для всех выборок $y_1 < y_0$, так как $B = 0,8108 < \chi^2_{0,9} = 2,7$, то дисперсии всех выборок однородны.

Таблица 1 – Пример расчёта однородности дисперсии и средних наблюдений коррозии искусственных заземлителей

Число выборок n	1	2	3	4
Расчетное значение квантиля нормального распределения y_1	2,003	2,123	0,1122	1,333
Табличное значение квантиля нормального распределения y_0	2,717			
Расчетное значение критерия Барлета B	0,8108			
Табличное значение критерия Пирсона для $p = 0,1 \chi^2_{0,9}$	2,7			
Расчетное значение критерия Фишера $F_{расч}$	0,44			
Табличное значение критерия Фишера $F_{табл}$ для $p = 0,05$	2,8			

На основании неравенства $F_{расч} = 0,44 < F_{табл} = 2,8$ можно заключить, что однородны и средние значения по выборкам.

При статистической обработке данных по коррозии ИЗ встречается и наличие неоднородности. Пример такого расчета приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Пример статистической обработке данных по коррозии ИЗ при наличии неоднородности выборок измерений

Число выборок n	2
Расчетное значение критерия Барлета B	2,1486
Табличное значение критерия Пирсона χ^2 для $p = 0,1$	2,7
Расчетное значение критерия Фишера $F_{расч}$	44,5
Табличное значение критерия Фишера $F_{табл}$ для $p = 0,05$	3,8

Поскольку $F_{расч} = 44,5$ значительно больше $F_{табл} = 3,8$, то средние по выборкам нельзя считать однородными.

Примеры однородных (равномерных) разрушений приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Пример равномерных разрушений ИЗ на ЗС подстанции 110/35 Кизил-Аrvat ПО Туркменэнерго (срок службы 12 лет)

Номера точек	Тип грунта	Глубина расположения ИЗ, м	Глубина коррозии ИЗ, мм	Степень коррозии
1	Супесь	1,0	3,28	K0
2	Супесь	1,0	4,02	K0
3	Тяжелая супесь	1,0	5,60	K0
4	Тяжелая супесь	1,6	2,34	K0

Примечание: K0-максимальная степень опасности коррозии

В таблице 4 приведены примеры локальных разрушений.

Таблица 4 – Пример локальных разрушений ИЗ на ЗС подстанции 110/35 Джебел ПО Туркменэнерго (срок службы 13 лет)

Номера точек	Тип грунта	Глубина расположения ИЗ, мм	Глубина коррозии ИЗ, мм	Степень коррозии
1	Песок мелкий	0,45	0,553	K4
2	Песок мелкий	0,45	0,276	K5
3	Песок мелкий	0,45	0,367	K4
4	Песок мелкий	0,45	3,0	K0

Примечание: K4, K5-средняя и минимальная степень опасности коррозии соответственно

В заключение необходимо подчеркнуть, что примеры однородных (равномерных) разрушении физически обусловлены однородными условиями. Равномерное разрушение ИЗ достигается либо за счет эффекта «блуждания» анодов, либо за счет функционирования макропар, соизмеримых между собой по плотности анодного тока на ИЗ.

Локальные разрушения на ИЗ возникают при наличии неоднородных условий, когда макропары от какого-либо фактора являются доминирующими (например, пары дифференциальной аэрации) среди других макропар.

Солевая обработка искусственных заземлителей. При сооружении ИЗ в высокоомных грунтах возникает необходимость снижения их сопротивления растеканию. С этой целью применяют различные составы [1, 2, 5].

Недостатком состава [2] является присутствие в электролите хлористых солей. Как известно хлориды наиболее опасные в коррозионном отношении соли. Попадая в грунт, при искусственной обработке его солями, ионы хлора уничтожают пленку окислов на стали, увеличивают анодные поверхности и при наличии хороших катодов (железобетонных фундаментов), усиливают коррозионные разрушения элементов заземляющих систем. Кроме того, это довольно сложный состав.

Известен состав для обработки высокоомного грунта на основе природного гипса, применяющийся для уменьшения удельного сопротивления грунта и коррозионного воздействия на заземлители из черной и оцинкованной стали [2].

Недостатком состава является небольшой эффект снижения сопротивления грунта и антикоррозионного свойства. При добавлении гипса в грунт сопротивление его уменьшается в среднем только на 60%, а защита от коррозии увеличивается на 14%.

Для практики необходим состав, создающий более низкое сопротивление растеканию ИЗ в сочетании с повышенной антикоррозионной стойкостью.

Поставленная цель достигается тем, что состав на основе гипса дополнительно содержит азотнокислый калий (KNO_3), окись хрома (Cr_2O_3) и пироглосфорнокислый натрий ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) при следующем соотношении компонентов [2] мас. %:

- $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: 10-97,0;
- KNO_3 : 1,0-30,0;
- Cr_2O_3 : 1,0-30,0;
- $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$: 1,0-30,0.

Для повышения окислительных свойств солей окислительного типа азотнокислого калия, окиси хрома в гипс введен пироглосфорнокислый натрий, способствующий переводу рыхлых гидроакисей железа в более прочные защитные пленки. Кроме того, введение в гипс вышеуказанных солей способствует удержанию влаги в грунте и поглощению последней из атмосферы, что создает более стабильный режим снижения сопротивления грунта.

В таблице 5 приведен рецептурный состав для обработки высокоомного грунта.

Таблица 5 – Состав для обработки высокоомного грунта [1]

Компоненты	Формула	Прототип [2]	Предлагаемый состав, мас. %		
			минимальный	оптимальный	максимальный
Гипс	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	100	97	50	10
Калий азотнокислый	KNO_3	–	1	15	30
Окись хрома	Cr_2O_3	–	1	15	30
Пироглосфорнокислый натрий	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	–	1	20	30

В таблице 6 приведены свойства предлагаемого состава по сравнению с известным.

Таблица 6 – Свойства состава по авторскому свидетельству СССР №1029234 [1] по сравнению с известным

Параметры	Естественный грунт	Прототип [2]	Предлагаемый состав, мас. %		
			минимальный	оптимальный	максимальный
Сопротивление, кОм	1,65	1,58	1,54	1,04	0,97
Глубина коррозии, мм	0,081	0,066	0,059	0,037	0,045
Потеря веса, г	0,593	0,508	0,456	0,240	0,292

Как видно из представленных данных сопротивление грунта, содержащего данный состав снижается на 32% по сравнению с известным в сочетании с повышенной антикоррозионной стойкостью.

В зависимости от того в каком состоянии находится заземляющее устройство электроустановки, выбираются и соответствующие мероприятия по повышению его долговечности,

статистическая обработка разрушений стальных искусственных заземлителей электроустановок.

Выводы:

- Проанализированы составы химической обработки стальных искусственных заземлителей с целью удаления с них продуктов коррозии без повреждения металла.
- Приведены примеры статистической обработки разрушений стальных искусственных заземлителей. При проверке однородности измеренных глубин коррозии искусственных заземлителей отмечены случаи как однородности выбора измерения коррозии, так и неоднородности наблюдений (совместно обрабатывались только однородные выборки)
- Выбран состав для обработки ИЗ в высокоомных грунтах, содержащий азотнокислый калий, окись хрома и пиррофосфорнокислый натрий, снижающий сопротивление грунта на 32% (по сравнению с прототипом) и имеющий повышенную антикоррозионную стойкость. Проведены сравнительные испытания предложенного состава и прототипа. Состав может быть рекомендован для использования на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 А.с. 1029234 СССР. МКИ4Н 01 В 3/02. Состав для обработки высокоомного грунта / Н.А. Безверхова, Ю.В.Демин. -№3340194: заявл. 22.09.81; опубл. 15.07.83. Бюл. №26. -3 с.
- 2 Демин Ю.В. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций в агрессивных средах / Ю.В. Демин, Р.Ю. Демина, В.П. Горелов. Под ред. В.П. Горелова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 1998. -190 с.
- 3 Налимов, В.В. Применение математической статистики при анализе вещества/ В.В. Налимов. - М.: Физматгиз, 1960. -320 с.
- 4 Пустыльник, Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е.И. Пустыльник. -М.: Наука, 1968. -280 с.
- 5 Демин, Ю.В. Анализ методов и средств оценки состояния металлических электросетевых конструкций / Ю.В. Демин, Г.В. Иванов, Б.В. Палагушкин // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2015. -№2. -С. 102-106.

REFERENCES

- 1 Bezverkhova N.A., Demin Yu.V. Mixture for the treatment of high-resistivity soil [Sostav dlya obrabotki vysokoomnogo grunta]. Izobreteniya Poleznye modeli. July. 07, 1983. No. 26, 3 p.
- 2 Demin Yu.V., Demina R.Yu., Gorelov V.P. Ensuring the durability of electric grid materials and structures in corrosive environments [Obespechenie dolgovechnosti elektrosetevykh materialov i konstrukttsii v agressivnykh sredakh]. Novosibirsk. Novosibirsk St. Acad. of Water Transp., 1998. 190 p.
- 3 Nalimov V.V. Application of mathematical statistics in the analysis of materials [Primenenie matematicheskoi statistiki pri analize veshchestva]. Moscow. Fizmatgiz Publ. 1960. 320 p.
- 4 Pustyl'nik E.I. Statistical methods of analysis and processing of observations [Statisticheskie metody analiza i obrabotki nablyudenii]. Moscow. Nauka Publ. 1968. 280 p.
- 5 Demin Yu.V., Ivanov G.V., Palagushkin B.V. Analysis of methods and means for assessing the state of metal transmission towers [Analiz metodov i sredstv otsenki sostoyaniya metallicheskikh elektrosetevykh konstrukttsii]. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2015. No. 2. pp. 102-106.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: заземляющие устройства электроустановок, коррозионная стойкость, химические составы для удаления продуктов коррозии

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Иванова Алена Геннадьевна, преподаватель Филиал ТИУ в г.Тобольске
Реутов Сергей Николаевич, инженер ФГБОУ ВО «СГУВТ»
626158, г.Тобольск, Зона вузов №5, Филиал ТИУ в г.Тобольске

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ИНТЕГРАЦИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В ЭНЕРГОСИСТЕМУ С ПОМОЩЬЮ ПРЕДИКТОРНОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕТРА И ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

В.З. Манусов, Ш.К. Халдаров, А.А. Холдонов

WIND POWER PLANTS INTEGRATION TO THE POWER SYSTEM WITH THE PREDICTION MODEL OF WIND AND POWER CONSUMPTION

Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630092, Russia
Vadim Z. Manusov (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of NSTU)
Sherzod K. Khaldarov (Graduate student of NSTU)
Abdurakhmon A. Kholdonov (Graduate student of NSTU)

ABSTRACT: To predict wind speed and power load, it is proposed to use autoregression based on the concept of fuzzy logic. It is as a reasonably convenient modeling tool in the absence of a priori assumption about the model structure. As a system of rules, the Takagi-Sugeno fuzzy model was used. When dividing the domain of input factors, trapezoidal membership functions were chosen. To estimate the accuracy of the solutions obtained, in the research the root-mean-square error was used.

Keywords: autoregression, fuzzy logic, regression model, least square method, Takagi-Sugeno fuzzy model

Для прогнозирования скорости ветра и электрической нагрузки предлагается использовать авто-регрессию на основе концепции нечетких систем, которая признана достаточно удобным инструмен-

том моделирования при отсутствии априорных предположений о структуре модели. В качестве систем правил использовалась модель Такаги-Сугено. При разбиении области определения входных факторов использовались трапециевидные функции принадлежности. Для оценивания точности получаемых решений в работе использовалась среднеквадратичная ошибка.

Растущие цены на ископаемое топливо ускоряют процесс перехода на возобновляемые источники энергии. Среди разнообразия таких источников, в настоящее время, пользуется довольно большим спросом ветровая энергия, как один из наиболее эффективных и чистых источников энергии. Однако интеграция подобных источников энергии в электроэнергетическую систему вызывает различного рода проблемы, которые сегодня находят свое решение [1]. Наряду с этим надо отметить, что вырабатываемая мощность ветроэнергетическими установками сильно зависит от метеорологических факторов, в частности скорости ветра. Соответственно, неожиданное изменение мощности ветряной электростанции (ВЭС) может привести к таким производственным издержкам как потребность в увеличении основной резервной мощности и увеличение рисков в надежности электроснабжения.

Системным операторам необходимо прогнозировать изменения вырабатываемой ВЭС мощности и точно знать объемы выработки, чтобы планировать необходимый объем резерва и управлять процессами в сети с учетом прогнозных данных. Для уменьшения объема резервной мощности и повышения уровня проникновения ВЭС в энергосистему необходимо точное прогнозирование скорости ветра.

Цели и задачи работы. Рассмотрим систему электроснабжения, в которой имеются электропотребители в качестве жилых и общественных зданий, а также источник энергии в виде парка ветроэлектрических установок (ВЭУ). Суточный график нагрузки, а также суточный график мощности выдаваемой ВЭУ представлены на рисунке.

Уравнение баланса для данной системы будет иметь следующий вид

$$P_{wind} \pm P_{bass} + P_{gass} + P_{es} = P_{cons} + \Delta P, \quad (1)$$

где P_{wind} – мощность ВЭУ, кВт;

P_{bass} – мощность аккумуляторной батареи, кВт;

P_{gass} – мощность газовой станции, кВт;

P_{es} – мощность, которую можно закупить в электроэнергетической системе (ЭЭС), кВт;

P_{cons} – мощность потребителя, кВт;

ΔP – потери мощности, кВт.

Как видно из рисунка, в системе имеется дефицит мощности в период времени с 6 ч утра до 13 ч дня, наибольший дефицит приходится на полдень, наименьший на 10 ч утра. Очевидно, что для интеграции ВЭУ в общую электрическую сеть необходимо оперировать не статистическими данными по выдаваемой мощности ВЭУ и электропотреблению, накопленными за определенный промежуток времени, а иметь оперативные данные, полученные с помощью метода прогнозирования.

Регрессионная модель на основе нечеткой логики. В силу сложности построения модели скорости ветра, а также влиянию неучтенных метеорологических факторов, таких как: температура воздуха, давление, влажность и другие не всегда удается однозначно определить вид статистически устойчивой зависимости. Часто можно наблюдать, что в различных частях области определения факторов, более адекватными могут оказываться различные модели. В этом случае можно пытаться получить единую адекватную на исходной выборке модель, значительно ее усложнив. Другой способ может состоять в построении кусочной регрессии. Недостаток пер-

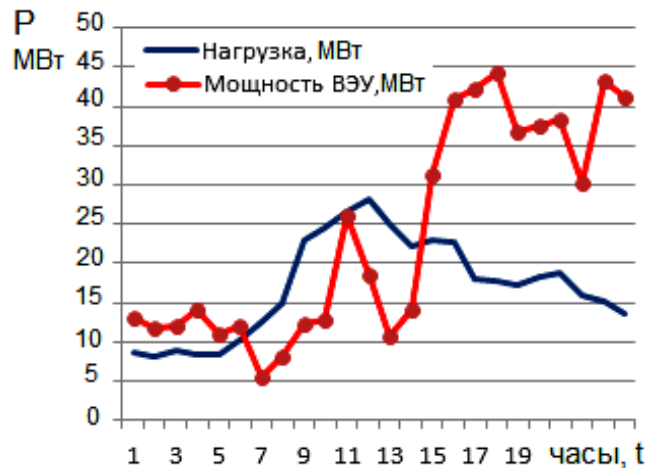


Рисунок – Нагрузка и мощность на суточном интервале

вой (переусложненной) модели состоит в значительном риске ее использовании для прогноза. Кусочные модели требуют достаточно точного определения области определения ее отдельных частей.

Альтернативным вариантом можно считать построение модели в виде системы размытых правил. Преимуществом таких моделей является то, что получаемое решение есть достаточно гладкая функция. Границы действия отдельных частей модели размыты, что снижает требования к их точному определению. Точность аппроксимации можно варьировать, увеличивая или уменьшая число используемых размытых правил.

Нечеткие модели Такаги-Сугено типа MISO (multiple input, single output) представляют собой совокупность правил вида [2]

$$\text{if } x_j \in A_{ji} \& \dots \& x_k \in A_{ki} \text{ THEN } y = \eta^i(x); \quad i = 1, \dots, M, \quad (2)$$

где A_{ji} – нечеткое подмножество для переменной x_j с функцией принадлежности $\mu_{A_{ji}}(x_j)$, обладают тем свойством, что в любой точке x выполняется условие

$$\sum_{i=1}^M \mu_{A_{ji}}(x_j) = 1;$$

M – число правил;

$\eta^i(x)$ – функция, определяющая локальную зависимость отклика y от набора регрессий $x = (x_1, \dots, x_k)^T$.

Четкое значение переменной y , полученное с использованием дефаззификации по методу центра тяжести, вычисляется по формуле

$$y = \frac{\sum_{i=1}^M \mu_i \eta^i}{\sum_{i=1}^M \mu_i}; \quad (3)$$

$$\mu_i = \prod_{j=1}^k \mu_{A_{ji}}(x_j).$$

Модель в виде (2), (3) будем называть FLR (Fuzzy Logic Regression) регрессионной моделью.

Одной из серьезных проблем построения нечетких TS (Takagi-Sugeno) моделей является быстрый рост числа правил вида (2) как при увеличении числа нечетких партий при разбиении области определения входных переменных равно, так и при увеличении числа входных факторов.

Рассмотрим систему нормальных уравнений вида

$$\hat{\theta}^i = (X^T W_i X)^{-1} X^T W_i y; \quad (4)$$

$$W_i = \text{diag}(\mu_{i1}, \mu_{i2}, \dots, \mu_{iN}),$$

где μ_{ij} – значение μ_i в j -ой точке.

Видим, что параметры локальных моделей в этом случае оцениваются независимо.

Наверное, главная проблема при моделировании временного ряда силы ветра в том, что этот ряд, скорее всего, не стационарен. Есть у него трендовая составляющая. Она определяется довольно часто повторяющимися участками усиления ветра и ослабления ветра. Предлагается участки временного ряда усиления и ослабления ветра моделировать разными локальными моделями.

Наиболее ответственный момент здесь – это определить, когда ситуация находится в состоянии усиления ветра (положительный тренд), а когда в ситуации ослабления ветра (отрицательный тренд). Самый простой вариант это учесть величину и знак разности

$$\Delta y = y(t-1) - y(t-2).$$

Пусть в зоне отрицательных значений разности Δy значение $\mu_1(\Delta y)$ принимает значение 1, а в зоне положительных значений разности Δy значение $\mu_2(\Delta y)$ принимает значение 1. Первая и вторая партии пересекаются в окрестности 0. Шириной пересечения можно управлять. Либо можно в зоне окрестности 0 выделить отдельную партию. Тогда их будет 3. Третья партия будет соответствовать периоду, когда ветер более менее постоянен.

Рассмотрим случай двух партий, где правила примут вид

$$\text{if } \Delta y \in A_1 \text{ then } y^1(t) = a_1^1 y(t-1) + a_2^1 y(t-2); \text{ if } \Delta y \in A_2 \text{ then } y^2(t) = a_1^2 y(t-1) + a_2^2 y(t-2). \quad (5)$$

В глобальном методе наименьших квадратов (МНК) в качестве регрессоров будут выступать

$$\mu_1(\Delta y)y(t-1); \mu_1(\Delta y)y(t-2); \mu_2(\Delta y)y(t-1); \mu_2(\Delta y)y(t-2). \quad (6)$$

Итак, в зоне первой партии мы в основном моделируем (описываем) первой моделью участок ниспадающего тренда, а в зоне второй партии второй моделью моделируем участок восходящего тренда.

В зоне смены направлений тренда должны получить сглаженный участок за счет пересечения партий. Важно определить участок пересечения партий.

Результаты прогнозирования. Для прогноза на сутки вперед необходимо получить отдельный прогноз для каждого из коэффициентов временных рядов: скорости ветра и электрической нагрузки (таблица 1).

Прогноз нагрузки и скорости ветра на сутки вперед будет представлять собой сумму прогнозов детализирующих коэффициентов всех трех уровней разложения и прогноза аппроксимирующего коэффициента третьего уровня разложения.

Таблица – Результат прогноза скорости ветра и электрической нагрузки

Дата, Время	Прогноз скорости ветра			Прогноз электрической нагрузки		
	Истинные данные, м/с	AR(2), м/с	Отклонение AR(2), %	Истинные данные, кВт	AR(2), кВт	Отклонение AR(2), %
30.03.2015 0:00	10	7,15	39,92	13070	12 847	1,73
30.03.2015 6:00	8	9,32	14,12	10130	10 008	1,22
30.03.2015 12:00	9	8,24	9,25	17159	16 762	2,37
30.03.2015 18:00	7	8,56	18,21	20561	20 165	1,96

Выводы. Предложен метод интегрирования мощности ветроэнергетической установки в энергетическую систему на основе предикторного прогнозирования скорости ветра и графика электропотребления. Моделирование процессов, определяющих скорость ветра, осуществляется на основе моделей авторегрессий и скользящего среднего с различной структурой. При этом прогноз осуществляется на основе нечеткого логического вывода по методу Такаги-Сугено (TS). Результаты прогнозирования доказывают эффективность предложенной математической модели.

Показано, что предложенный метод может быть использован одновременно для прогнозирования скорости ветра, а, следовательно, потенциальной мощности ветроустановки и мощности электропотребителя на том или ином интервале времени. Модель позволяет перейти на предикторную систему управления ветроустановкой или ветроэнергетической станцией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Манусов, В.З. Разработка устройства гибкого регулирования потоков активной и реактивной мощности для эффективной интеграции ветроэлектростанций в энергосистему / В.З. Манусов, Ш.К. Халдаров, К.Н. Бойко // Актуальные проблемы электронного приборостроения» АПЭП-2014: мат-лы межд. конф. (3-6 окт. 2014 г.). -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. унив., 2014. -Т.10. -С. 64-66.
- 2 Попов, А.А. Глобальное и локальное оценивание параметров регрессионных моделей при использовании концепции нечетких систем / А.А. Попов, А.А. Холдонов // -Сб. науч. тр. НГТУ. -2015. - №4(82). -С. 56-66.

REFERENCES

- 1 Manusov V.Z., Khaldarov Sh.K., Boiko K.N. Development of a device for flexible regulation of active and reactive power flows for effective integration of wind power plants into the power system [Razrabotka ustroystva gibkogo regulirovaniya potokov aktivnoi i reaktivnoi moshchnosti dlya effektivnoi integratsii vetroelektrostantsii v energosistemu]. *Actual Problems Of Electronic Instrument Engineering (APEIE-2014) [Aktual'nye problemy elektron'nogo priborostroeniya] APEP-2014*. Novosibirsk: Novosibirsk St. Techn. Univ. Publ. 2014. Vol. 10. pp. 64-66.
- 2 Popov A.A., Kholdonov A.A. Global and local estimation of parameters of regression models when using the concept of fuzzy systems [Global'noe i lokal'noe otsenivanie parametrov regressiionnykh modelei pri ispol'zovanii kontseptsii nechetkikh system]. *Transaction of scientific papers of the NSTU [Sbornik nauchnykh trudov NGTU]*. 2015. No. 4(82). pp. 56-66.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: авторегрессия, нечеткие системы, регрессионная модель, метод наименьших квадратов, модель Такаги-Сугено

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор НГТУ
Халдаров Шерзод Камалханович, аспирант НГТУ
Холдонов Абдурахмон Абдуллоевич, аспирант НГТУ

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения»

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

Тобольский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО ФГБОУ ВПО «Тюменский индустриальный университет»

**Ю.В. Дёмин, Д.А. Елизаров, В.З. Манусов, Г.В. Иванов,
А.Ю. Кузнецов, А.Б. Палагушкин, С.Н. Реутов**

IMPROVING THE METHODS OF CONTROL AND ANALYSIS OF NON-SINUSOIDAL VOLTAGE INDICATORS IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Omsk State Transport University (OSTU) 35, Prospekt Marksa, Omsk, 644046, Russia

Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630092, Russia

Tobolsk Industrial Institute (branch) Industrial University of Tyumen (The branch of IUT in Tobolsk) 5, Zona VUZov, Tobolsk, Tyumen region, 626158, Russia

Yurii V. Demin (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

Dmitrii A. Elizarov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of OSTU)

Vadim Z. Manusov (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of NSTU)

Gennadii V. Ivanov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of The branch of IUT in Tobolsk)

Altkei Yu. Kuznetsov (Ph.D. of Engineering Sciences, Senior Lecturer of SSUWT)

Aleksandr B. Palagushkin (Ph.D. of Engineering Sciences, Senior Lecturer of SSUWT)

Sergei N. Reutov (Engineer of SSUWT)

ABSTRACT: An algorithm for determining the voltage spectral components in electric power systems has been developed, which makes it possible to improve the accuracy of the non-sinusoidal curve estimation.

Keywords: *electric power quality, anharmonicity, voltage spectral components, Fibonacci method*

Разработан алгоритм определения спектральных составляющих напряжения в электроэнергетических системах, что позволяет повысить точность оценки несинусоидальности кривой напряжения.

Одним из основных факторов повышения энергоэффективности промышленных предприятий является повышение качества электрической энергии (КЭЭ). Для этого необходимо уделять больше внимания совершенствованию методов мониторинга и анализа показателей КЭЭ.

Оценка показателей КЭЭ является обязательной процедурой обеспечения безопасного использования электрооборудования, а также выполнения обязательств по предоставлению электроэнергии потребителям.

Расхождение в нормах показателей КЭЭ может привести к преждевременному износу электрооборудования, нарушениям производственного и технологического циклов предприятий, а также к дополнительным потерям электроэнергии. По данным Европейской комиссии, ежегодный экономический ущерб от некачественной электроэнергии в странах Европейского союза составляет около 150 миллиардов евро, в США – около 200 миллиардов долларов [1].

Форма кривой напряжения является одним из основных параметров, характеризующих качество электрической энергии в электроэнергетических системах [2, 3]. Несинусоидальное напряжение влияет на работу силового электрооборудования, релейную защиту и автоматику в электроэнергетических системах, приводит к значительному экономическому ущербу, вызванному ухудшением энергетических характеристик, снижением надежности функционирования электрических сетей и сокращением срока службы электрооборудования.

Показатели КЭЭ, описывающие несинусоидальность кривой напряжения, определяются результатами оценки гармонических и интергармонических составляющих напряжения. В связи с внедрением новых нормативных документов, описывающих показатели КЭЭ, требования к точности измерений, к аппаратным ресурсам измерительных приборов значительно возросли, а также изменился состав индикаторов показателей КЭЭ. Чтобы определить не-

синусоидальные параметры кривой напряжения, теперь, помимо гармоник, необходимо оценить интергармонику, которая требует более мощных аппаратных ресурсов. Эту проблему можно решить на программном уровне, увеличивая скорость метода спектрального анализа.

Целью работы является совершенствование методов мониторинга и анализа показателей, определяющих несинусоидальность кривой напряжения в электроэнергетических системах, путем создания нового алгоритма для определения спектральных составляющих напряжения.

Существующие методы оценки спектральных составляющих напряжения. Высокая точность оценки спектральных составляющих напряжения может быть обеспечена цифровой обработкой сигналов, в этом случае ее математическая основа представляет собой быстрое преобразование Фурье (БПФ) [4]. Однако использование только БПФ не точно оценивает параметры гармонических составляющих кривой напряжения, когда максимум БПФ не совпадает с максимумом спектра. В связи с этим необходимо применять дополнительные алгоритмы.

В [5-9] описаны следующие методы оценки спектральных компонент кривой напряжения:

- метод Якобсена (Jacobsen's Modified Quadratic Estimator);
- два метода Квина (Quinn's Estimator, Quinn's Second Estimator);
- два метода Маклеода (Macleod's Estimator);
- метод Грэндка (Grandke's method);
- алгоритм параболической интерполяции (Parabolic Interpolation);
- алгоритм интерполяции Гаусса (Gaussian Interpolation);
- алгоритм, рекомендованный в ГОСТ Р 51317.4.7–2008 (метод по ГОСТу);
- метод корреляционных функций.

В качестве методов спектрального анализа были рассмотрены алгоритмы интерполяции, алгоритм, рекомендованный в стандарте ГОСТ Р 51317.4.7-2008 (метод по ГОСТу), и метод корреляционных функций.

Модификация метода корреляционных функций. Коэффициент корреляции между исследуемой кривой напряжения и эталоном определяется по формуле

$$\sum_{i=1}^{i=M} U_i W_{ji} = A_v \exp(j\varphi_v) R(\Delta r - \Delta r_j) + S(\sigma^2), \quad (1)$$

где A_v – амплитуда v -й гармоники;

φ_v – фаза v -й гармоники;

$R(\Delta r - \Delta r_j)$ – корреляционная функция;

M – количество отсчетов в наборе эталона.

Шум $S(\sigma^2)$ определяет максимальную точность расчета гармонических составляющих напряжения в соответствии с теоретической границей Крамера-Рао. Нижняя граница Крамера-Рао является объективной мерой для определения поля дисперсии ошибок при оценке неизвестного параметра с использованием разных методов. Для параметров гармоник напряжения неравенство Крамера-Рао выглядит следующим образом

$$D(A) \geq \frac{2\sigma^2}{N}; D(f) \geq \frac{12\sigma^2}{A^2 \pi^2 N(N-1)(2N-1)}; D(\varphi) \geq \frac{2\sigma^2}{\pi A^2 N(N-1)}. \quad (2)$$

Из условия равенства двух комплексных чисел в формуле (1) значения амплитуды должны быть равными друг другу. Если в качестве окна выбирается симметричная функция, то функция $W(\omega)$ и множество ее значений являются действительными. Когда эталоны формируются достаточно часто, корреляционная функция $R(\Delta r - \Delta r_j)$ определяется как сумма квадратов значений W_{ji} (обозначим эту сумму как E). Модуль амплитуды v -й гармоники

$$A_v = \frac{1}{E} \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{i=M} \operatorname{Re}(U_i) W_{ji} \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{i=M} \operatorname{Im}(U_i) W_{ji} \right)^2}. \quad (3)$$

Из условия равенства двух комплексных чисел в формуле (1) значения угла φ правой и левой частей равны друг другу, вплоть до периода. Таким образом, фаза v -й гармоники кри-

вой напряжения без учета корреляционной функции определяется следующим образом

$$\varphi'_v = \arctg \left[\frac{\sum_{i=1}^{i=M} \operatorname{Im}(U_i) W_{ji}}{\sum_{i=1}^{i=M} \operatorname{Re}(U_i) W_{ji}} \right]. \quad (4)$$

Выражение (4) позволяет определить фазу v -й гармоники кривой напряжения относительно кривой напряжения – эталона. Чтобы получить фазу v -й гармоники, необходимо учитывать фазу кривой напряжения – эталона, а именно сдвиг фазы, связанный с отклонением значения параметра δ от базовой точки (вокруг которой формируются комплексы эталонов).

Для метода корреляционных функций был предложен алгоритм формирования эталонов (стандартов) с реальным спектром, который необходим для построения наборов стандартов и определения фазы v -й гармоники напряжения. Эталонные сигналы формируются из сигнала с одной гармоникой, применяя к нему оконные функции. Как известно из свойств дискретного преобразования Фурье, для того чтобы спектр сигнала, заданный N , имел только реальные значения, сигнал должен быть симметричным относительно точки $N/2$. Чтобы получить симметричный стандарт, необходимо получить симметричную синусоиду. Как показано на рисунке 1, для того чтобы синусоида была симметричной относительно точки $N/2$, необходимо выбрать ее фазу таким образом, чтобы значения в точках $(N/2-1)$ и $(N/2+1)$

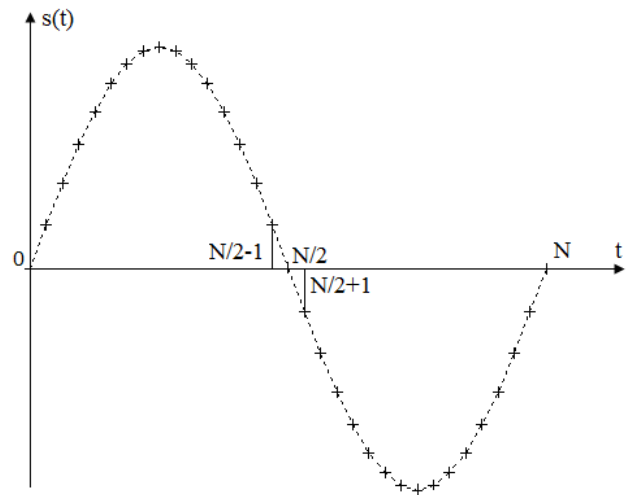


Рисунок 1 – Представление симметричного сигнала

были равны по абсолютной величине, но имели противоположное значение.

Выражения для определения фазы стандарта $\operatorname{phz}(\delta)$ имеют вид

$$\sin \left[\frac{2\pi}{N} f \left(\frac{n+1}{2} \right) + \operatorname{phz}(\delta) \right] = -\sin \left[\frac{2\pi}{N} f \left(\frac{n-1}{2} \right) + \operatorname{phz}(\delta) \right]. \quad (5)$$

После сокращения получаем следующую формулу для нахождения фазы эталона

$$\operatorname{phz}(\delta) = \pi f + \pi k. \quad (6)$$

Таким образом, с учетом формул (4) и (6), фаза v -й гармоники напряжения определяется следующим образом

$$\varphi_v = [\varphi' + \operatorname{phz}(\delta)] + 2\pi k. \quad (7)$$

Сравнительный анализ методов оценки спектральных составляющих напряжения. Методы оценки спектральных компонент напряжения, а также предложенная модификация метода корреляционных функций, были исследованы с использованием пакета Matlab.

На рисунке 2 показаны графики смещения оценки основной частоты напряжения и дисперсии при анализе основной частоты напряжения в зависимости от уровня шума для рассмотренных методов. Под смещением в этом случае понимается абсолютная величина разности между заданной частотой напряжения и частотой напряжения, полученной при расчете.

При изучении существующих методов определения частоты напряжения при низком уровне шума (отношение сигнал/шум 30 дБ) все методы показали высокую точность. С увеличением уровня шума ошибка методов интерполяции значительно возрастает, и на определенном уровне они перестают работать.

Графики дисперсионных зависимостей при оценке амплитуды и фазы гармоник напряжения от уровня шума показаны на рисунке 3, здесь же отражена граница Крамера-Рао.

Как видно на рисунках 2 и 3, при определении параметров гармоник кривой напряжения рекомендуется использовать модернизированный метод корреляционных функций, поскольку точность методов интерполяции и метода по ГОСТу ниже.

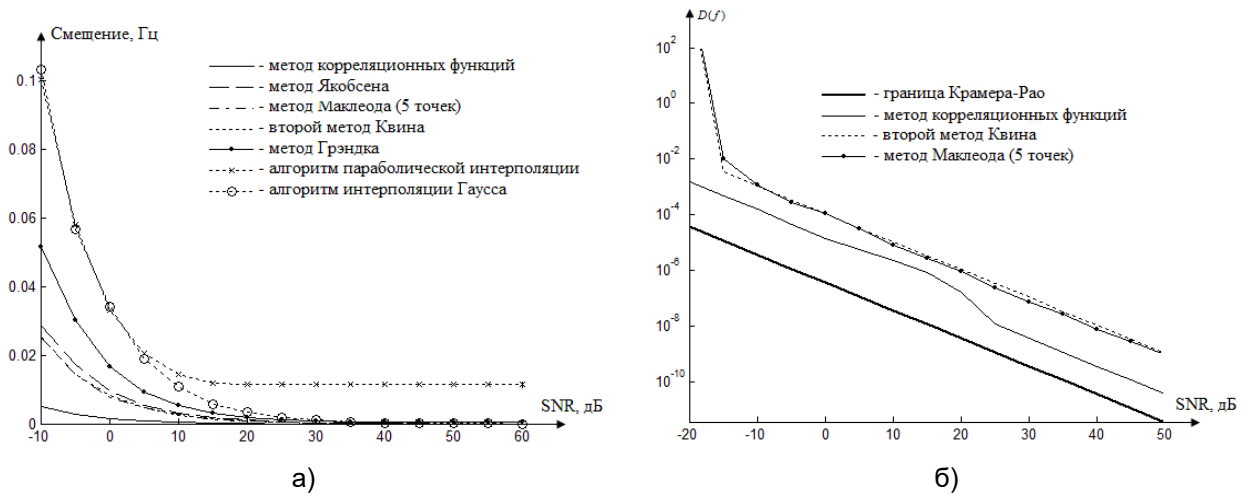


Рисунок 2 – График смещения (а) оценки основной частоты напряжения в зависимости от уровня шума и дисперсия (б) при оценке основной частоты напряжения

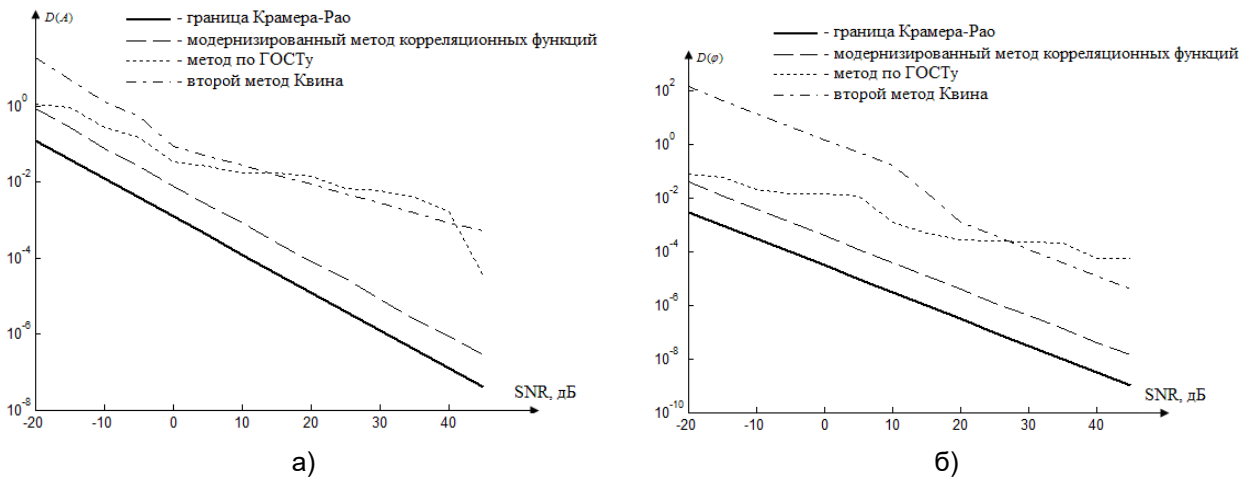


Рисунок 3 – Дисперсия: а)-при оценке амплитуды гармоник напряжения; б)-при оценке фазы гармоник напряжения

Метод чисел Фибоначчи для поиска экстремума корреляционной функции. При анализе метода корреляционных функций для определения количества выборок в наборе стандартов было установлено, что при его создании достаточно использовать пять выборок в наборе стандарта.

Чтобы определить коэффициент корреляции, необходимо перебрать все наборы стандартов. Одним из способов уменьшения вычислительной сложности метода является уменьшение операции перечисления путем применения методов для определения максимума функции по заданным точкам.

Для решения проблемы оптимизации был выбран метод чисел Фибоначчи, поскольку в отличие от других методов поиска экстремума этот метод позволяет использовать подготовленные стандарты, и требует двух вычислений функции на первой итерации, а также каждый последующий он один за другим [10].

В таблице 1 представлены результаты сравнительного анализа рассмотренных выше методов.

В предварительном для быстрого метода корреляционных функций этапе необходимо определить:

- точность, с которой будут выполняться вычисления (определить шаг формирования комплектов стандартов h);
- базовую точку, вокруг которой создаются стандарты, как ближайшее целочисленное значение частоты измеряемого напряжения. Аналогичным образом формируются наборы стандартов, как и для метода корреляционных функций.

Таблица – Сравнение методов для решения задач оптимизации

Метод	Половинного деления	Золотого сечения	Чисел Фибоначчи
Количество вычислений	$N = 2k$	$N = k + 1$	$N = k + 1$
Наличие операций деления при определении значений целевой функции (округление результатов)	нет	да	нет
Возможность заранее определять точки, в которых необходимо вычислить значения целевой функции	нет	нет	да

Амплитуда ν -ой гармоники напряжения определяется по формуле (3). Значение наибольшей гармонической амплитуды соответствует коэффициенту корреляции. Максимальное значение корреляционной функции определяется методом чисел Фибоначчи. Для этого на первой итерации коэффициенты корреляции определяются в двух точках, на следующей итерации только в одной. Наибольшее значение коэффициента корреляции показывает пару эталон-сигнал. Величина наибольшего коэффициента корреляции соответствует амплитуде ν -ой гармоники напряжения, фаза ν -ой гармоники напряжения определяется по формуле (7).

Алгоритм быстрого метода корреляционных функций представлен на рисунке 4.

На рисунке 5 показаны графики зависимостей сдвига частоты первой (основной) гармоники от уровня шума для быстрого метода корреляционных функций и метода корреляционных функций.

Точность быстрого метода корреляционных функций соизмерима с точностью модернизированного метода корреляционных функций. Различия происходят только при уровнях шума от -10 дБ до -5 дБ. Значение отклонения не превышает 2%. На рисунке 6 показана диаграмма, отражающая вычислительную сложность быстрого метода корреляционных функций и метода корреляционных функций. Абсцисса – это шаг формирования наборов стандартов, ордината – число наборов эталонных образцов.

Вычислительная сложность быстрого метода корреляционных функций значительно ниже. Число переборов быстрого метода корреляционных функций пропорционально натуральному логарифму от квадрата числа переборов метода корреляционных функций.

Заключение.

– Модернизирован метод оценки гармонических составляющих кривой напряжения. Для метода корреляционных функций были уточнены методы расчета амплитуд и фаз гармоник кривой напряжения, которые позволяют обеспечить точность, близкую к теоретической границе Крамера-Рао.

– В качестве метода решения задачи сокращения числа операций перечисления наборов стандартов предлагается метод чисел Фибоначчи. Число выборок стандартных наборов быстрым методом корреляционных функций пропорционально натуральному логарифму от квадрата числа переборов методом корреляционных функций.



Рисунок 4 – Алгоритм быстрого метода корреляционных функций

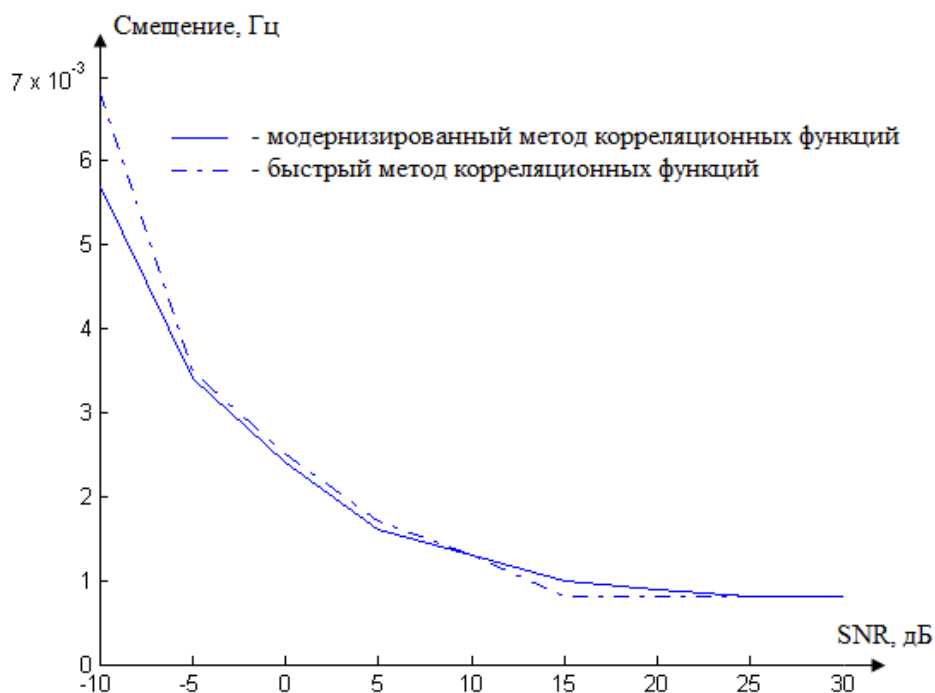


Рисунок 5 – График зависимостей смещения частоты от уровня шума

– Разработан новый алгоритм определения гармонических и интергармонических составляющих напряжения в электроэнергетических системах. Этот алгоритм позволяет оценивать параметры спектра напряжения с точностью наилучшего модернизированного метода корреляционных функций меньшей вычислительной сложности. Использование разработанного алгоритма позволило повысить точность и скорость методов оценки показателей, указывающих на несинусоидальность кривой напряжения.

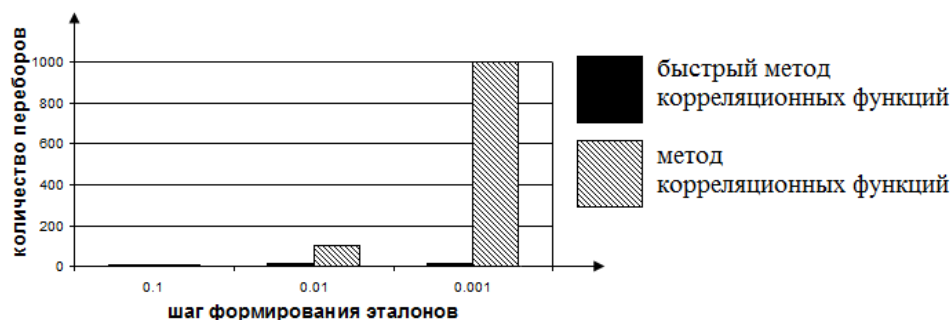


Рисунок 6 – Диаграмма вычислительной сложности

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Targosz, R. The cost of poor power quality / R. Targosz, D. Chapman. URL: <http://www.leonardo-energy.org/resources/297/the-cost-of-poor-power-quality-5800e490f1e14>. -01.03.2018.
- 2 Жежеленко, И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко. -М.: Энергоатомиздат, 2000. -252 с.
- 3 ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Введ. 07-01-2014. -М.: Стандартинформ, 2014. -19 с.
- 4 Blahut, R.E. Fast Algorithms for Signal Processing / R.E. Blahut. -Cambridge: Cambridge University Press, 2010. -469 p.
- 5 Gasior, M. Improving FFT Frequency Measurement Resolution by Parabolic and Gaussian Spectrum Interpolation. / M. Gasior, J.L. Gonzalez // CERN, CH-1211, Geneva 23, Switzerland Geneva, Switzerland May, 2004.
- 6 Grandke Thomas. Interpolation Algorithms for Discrete Fourier Transforms of Weighted Signals. / Tho-

REFERENCES

- 1 Targosz R. and Chapman D. *The cost of poor power quality*. URL: <http://www.leonardo-energy.org/resources/297/the-cost-of-poor-power-quality-5800e490f1e14>. 01 Mar. 2018.
- 2 Zhezhelenko I.V., Saenko Yu.L. Power quality indicators and control of these at industrial enterprises [*Pokazateli kachestva elektroenergii i ikh kontrol' na promyshlennykh predpriyatiyakh*]. Moscow. Energoatomizdat Publ. 2000. 252 p.
- 3 GOST 32144-2013. Electric power. Electromagnetic compatibility of technical devices. Power quality standards in general purpose power supply systems [*Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoi energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya*]. Moscow. Standartinform Publ. 2014. 19 p.
- 4 Blahut R.E. *Fast Algorithms for Signal Processing*. Cambridge University Press. 2010. -469 p. -ISBN-10: 0521190495, ISBN-13: 978-0521190497.
- 5 Gasior M. and Gonzalez J.L. *Improving FFT Frequency Measurement Resolution by Parabolic and Gaussian Spectrum Interpolation*. CERN, CH-1211, Geneva 23, Switzerland Geneva, Switzerland May, 2004.
- 6 Grandke Thomas. Interpolation Algorithms for Discrete Fourier Transforms of Weighted Signals. *IEEE Trans. Instrumentation and Meas-*

mas Grandke // IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, Vol. IM-32, pp 350-355, June 1983.

7 Jacobsen E. Fast, accurate frequency estimators [DSP Tips & Tricks] / E. Jacobsen, P. Kootsookos // Signal Processing Magazine, IEEE, 24(3):123-125, May 2007.

8 Quinn, B.G. Estimating frequency by interpolation using Fourier coefficients / B.G. Quinn // IEEE Trans. Signal Processing. -1994. -Vol. 42. -No. 5. -P. 1264-1268.

9 Палагушкин, Б.В. Анализ существующих методов оценки спектральных составляющих напряжения в электроэнергетических системах / Б.В. Палагушкин, Ю.В. Дёмин, Д.А. Елизаров, Е.Г. Алаев, И.Л. Власов, А.С. Герасименко, Ю.М. Денчик // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2014. -№4. -С. 191-196.

10 Елизаров, Д.А. Применение метода чисел Фибоначчи для поиска максимума корреляционной функции / Д.А. Елизаров // -В мире научных открытий. -2012. -№1(25). -С. 28-38.

urement, Vol. IM-32, pp. 350-355, June 1983.

7 Jacobsen E. and Kootsookos P. Fast, accurate frequency estimators [DSP Tips & Tricks]. *Signal Processing Magazine, IEEE*, 24(3):123-125, May 2007.

8 Quinn B.G. Estimating frequency by interpolation using Fourier coefficients. *IEEE Trans. Signal Processing*. Vol. 42. No. 5. 1994. pp. 1264-1268.

9 Palagushkin B.V., Demin Yu.V., Elizarov D.A., Alaev E.G., Vlasov I.L., Gerasimenko A.S., Denchik Yu.M. Analysis of existing methods for estimating the spectral components of voltage in electric power systems [Analiz sushchestvuyushchikh metodov otsenki spektral'nykh sostavlyayushchikh napryazheniya v elektroenergeticheskikh sistemakh]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2014. No. 4. pp. 191-196.

10 Elizarov D.A. Application of the method of Fibonacci for search maximum of correlation function [Primenenie metoda chisel Fibonacci dlya poiska maksimuma korrelyatsionnoi funktsii]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture [V mire nauchnykh otkrytiy]*. 2012. No. 1(25). pp. 28-38.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: качество электроэнергии, несинусоидальность, спектральные компоненты напряжения, метод Фибоначчи

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Елизаров Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «ОмГУПС»
Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор НГТУ
Иванов Геннадий Викторович, канд. техн. наук, доцент Филиал ТИУ в г.Тобольске
Кузнецов Алексей Юрьевич, докт. техн. наук, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Палагушкин Александр Борисович, канд. техн. наук, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Реутов Сергей Николаевич, инженер ФГБОУ ВО «СГУВТ»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»
644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВО «ОмГУПС»
630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ
626158, г.Тобольск, Зона вузов №5, Филиал ТИУ в г.Тобольске

ЗНАЧИМЫЕ РЕГУЛИРУЮЩИЕ ЭФФЕКТЫ ПО НАПРЯЖЕНИЮ ФИДЕРА СУДОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Омский институт водного транспорта (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»
ООО «Вымпелсетьстрой»

**Ю.Н. Смыков, Д.А. Зубанов, Ю.М. Денчик, В.Г. Сальников,
Е.В. Иванова, М.Н. Иванов**

IMPORTANT VOLTAGE-REGULATING EFFECTS OF LOAD IN SHIP POWER LINE

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia
Omsk Institute of Water Transport (branch) Siberian State University of Water Transport

(OIWT) 4, Ivan Alekseev St., Omsk, 644099, Russia

Vympelset'stroi (Vympelset'stroi) 35, Varshavskoe shosse St., Moscow, 117105, Russia

Yurii N. Smykov (Senior Lecturer of SSUWT)
Dmitrii A. Zubanov (Senior Lecturer of OIWT)

Julia M. Denchik (Ph.D. of Engineering Sciences, Lead Engineer of Vympelset'stroi)

Vasilii G. Sal'nikov (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

Elena V. Ivanova (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

Mihail N. Ivanov (Ph.D. of Engineering Sciences, Senior Lecturer of SSUWT)

ABSTRACT: Authors consider regulating effects on active and reactive power, static characteristics of power transmission elements, and voltage-regulating effects.

Keywords: static characteristics, power transmission elements, regulating effect

Рассмотрены регулирующие эффекты по активной мощности и реактивной мощности, статических характеристик элементов электропередачи, регулирующие эффекты по напряжению.

Схема электроснабжения предприятия водного транспорта состоит из подсистем. Подсистемой можно считать фидер электропередачи «берег-судно», включающий в себя силовой трансформатор 10/0,4 кВ, питающий этот трансформатор кабель (КЛ) или воздушную линию (ВЛ), штатный судовой электрический кабель 0,4 кВ, ГРЩ и судовые электроприемни-

ки. На рисунке 1 приведена схема замещения этого фидера.

Основные количественные характеристики элементов структуры электропередачи «берег-судно»:

- число присоединений к секции шин 10 кВ источника питания..... 3/15;
- длина кабельных/воздушных линий 10 кВ..... 0,1/2,5 км;
- длина штатного кабеля судна 0,4 кВ..... до 0,5 км;
- число присоединений судов к одному трансформатору 10/0,4 кВ 1/5;
- мощность силового понижающего трансформатора 160-1000 кВА.

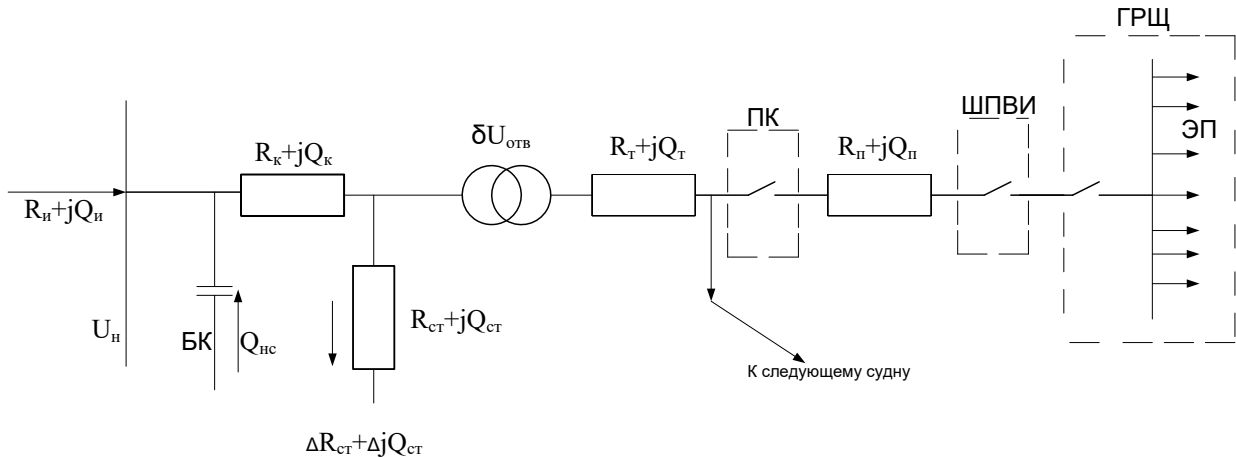


Рисунок 1 – Схема замещения фидера электропередачи «берег-судно», с направленными потоками мощностей фидера: $R_k, R_T, R_p, X_k, X_T, X_p$ -соответственно, активное и реактивное сопротивления кабеля 10 кВ, трансформатора и штатного кабеля 0,4 кВ; $\Delta P_{ст}, \Delta Q_{ст}$ -потери активной и реактивной мощности в стали трансформатора; U_n -напряжение источника питания; R_i, Q_i -активная и реактивная мощности, поступающие от источника питания в судовую электрическую сеть; R_p, Q_p -активная и реактивная мощности судовых электроприемников; $R_{ст}, X_{ст}$ -активные и реактивные сопротивления, характеризующиеся соответствующие потери мощностей в трансформаторе

Возможности регулирования напряжения в береговой электрической сети:

- изменение коэффициента трансформации трансформатора напряжения (35-110)/(6-10) кВ без его отключения от сети (пределы регулирования от номинального $\pm 8 \cdot 1,78\%$);
- изменение коэффициента трансформации трансформатора электропередачи «берег-судно» с отключенным от сети (пределы регулирования от номинального $\pm 2 \cdot 2,5\%$);
- изменение потерь напряжения в сети при подключении батарей конденсаторов (БК) к сети (6-10) кВ (см. рисунок 1).

В таблице представлены сечения кабелей 10 кВ с алюминиевыми жилами $F_{каб}$, выбранные с учетом термической стойкости токам короткого замыкания, а также активные R_T и реактивные сопротивления трансформаторов X_T , потери короткого замыкания (КЗ) ΔP_K , активные $\Delta P_{ст}$ и реактивные $\Delta Q_{ст}$ потери холостого хода, удельные активные $R_{0к}$ и реактивные $X_{0к}$ сопротивления кабелей, для трансформаторов с номинальными мощностями $S_{т.ном} = 160-2500$ кВА.

Сопротивления трансформаторов, приведенные к напряжению 10 кВ, определяются по следующим формулам

$$R_T = \frac{\Delta P_K U_{ном}^2}{S_{т.ном}}, \quad (1)$$

где R_T – активное сопротивление трансформатора;

ΔP_K – потери КЗ;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение;

$S_{т.ном}$ – номинальная мощность трансформатора.

$$Z_T = \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{т.НОМ}}} \frac{u_K}{100} \% , \quad (2)$$

где Z_T – полное сопротивление трансформатора;

u_K – напряжение КЗ.

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} , \quad (3)$$

X_T – реактивное сопротивление трансформатора.

Таблица – Характеристики элементов электропередачи (сопротивления приведены к напряжению 10 кВ)

Параметр	Номинальная мощность трансформатора $S_{\text{т.НОМ}}$, кВА						
	160	250	400	630	1000	1600	2500
R_T , Ом	11,4	6,5	3,4	2,36	1,22	0,7	0,4
X_T , Ом	25,7	16,8	10,7	9,33	5,36	3,36	2,16
ΔP_K , кВт	2,65	3,7	5,5	8,5	12,02	18	25
ΔP_{CT} , кВт	0,73	0,945	1,2	1,56	2,45	3,3	4,6
ΔQ_{CT} , кВАр	3,84	5,75	8,4	12,6	14	20,8	25
$F_{\text{каб}}$, мм ²	35	35	35	35	50	70	120
R_{0K} , Ом/км	0,92	0,92	0,92	0,92	0,64	0,46	0,26
X_{0K} , Ом/км	0,088	0,88	0,88	0,88	0,082	0,079	0,076

Удельные реактивные сопротивления X_{0K} кабелей 10 кВ, питающих трансформаторы изменяются в пределах от 0,083 до 0,076 Ом/км, то есть очень слабо зависят от номинальной мощности трансформатора, действительно реактивная мощность потребляется кабелями 10 кВ одинаковой длины, питающие трансформаторы мощностью от 160 до 2500 кВА, практически одинакова.

Анализ регулирующих эффектов по напряжению элементов фидера. На режим работы электропередачи «берег-судно» оказывают влияния регулирующие эффекты по напряжению кабельных (воздушных) линий источников реактивной мощности, понижающих трансформаторов и судовых электроприемников. В нашем случае, оценка регулирующих эффектов производилась по участкам, включающих однородные электрооборудование или элементы сети.

Участок электропередачи от источника питания 10 кВ до понижающего трансформатора. При составлении схемы замещения этого участка электропередачи «берег-судно» с позиции регулирующих эффектов (рисунок 2) не учитывались:

- реактивная мощность, генерируемая емкостями фаз электрического кабеля на землю и между собой, так как она на несколько порядков меньше реактивной мощности конденсаторной батареи, используемой для компенсации реактивной мощности;
- реактивная мощность, потребляемая индуктивным сопротивлением кабеля, и активная мощность, расходуемая в активном сопротивлении, так как они не оказывают заметного влияния на режим напряжения в сети;
- активная мощность конденсаторной батареи, расходуемая на генерацию реактивной мощности, из-за неучётно малых (для эксплуатации) значений удельного расхода кВт/кВАр.

Реактивная мощность конденсаторной батареи, которая передается в сеть 10 кВ, определяется по формуле

$$Q_{\text{нс}} = -\frac{U_{\text{н}}^2}{X_{\text{нс}}} , \quad (4)$$

где $X_{\text{нс}}$ – реактивное сопротивление конденсаторной батареи.

Регулирующий эффект конденсаторной батареи по реактивной мощности определяемый как производная от статической характеристики в точке номинального напряжения $U_{\text{н}}$, составляет

$$\alpha_{кб} = \frac{dQ_{кб}}{dU_H} = \frac{d\left(-\frac{U_H^2}{X_{кб}}\right)}{dU_H} = -2 \frac{Q_{кб}^*}{U_H^*} = -2. \quad (5)$$

где * — значения в относительных единицах.

Знак минус поставлен, потому что знак ёмкостного сопротивления противоположен знаку индуктивного сопротивления, принимаемому положительным.

Отрицательный регулирующий эффект батареи конденсаторов имеет негативный аспект: при понижении напряжения в сети мощность конденсаторной батареи снижается пропорционально квадрату напряжения, что может привести к дефекту реактивной мощности в центре питания и дальнейшему уменьшению напряжения.

Силовой понижающий трансформатор 10/0,4 кВ. В электропередаче «берег-судно» вторым после судовой нагрузки по значимости потребителем реактивной мощности является трансформатор 10/04 кВ (рисунок 3).

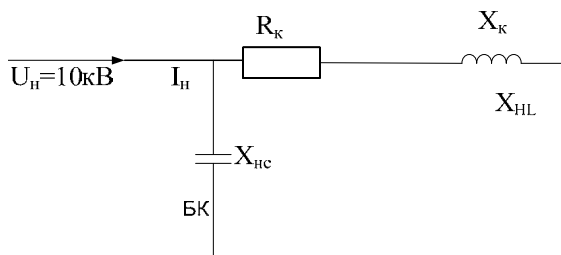


Рисунок 2 – Схема замещения участка электропередачи в виде постоянных сопротивлений

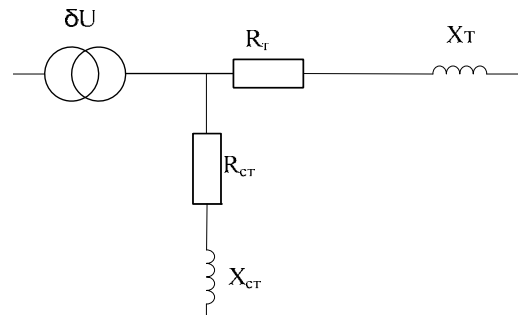


Рисунок 3 – Схема замещения трансформатора в виде постоянных сопротивлений

Потери реактивной мощности в трансформаторе составляют

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{xx} + K_3^2 \Delta Q_{кз}, \quad (6)$$

где ΔQ_{xx} — реактивные потери холостого хода трансформатора;

$\Delta Q_{кз}$ — реактивные потери короткого замыкания;

K_3 — коэффициент загрузки трансформатора.

Регулирующий эффект трансформатора по реактивной мощности определяется как производная от статической характеристики по напряжению в точке номинального напряжения U_H

$$\alpha_{mp} = \frac{d(Q_T)}{dU_H} = \frac{d(\Delta Q_{xx})}{dU_H} + \frac{d(K^2 \Delta Q_{кз})}{dU_H}. \quad (7)$$

При $U = U_H$ реактивные потери мощности в стали трансформатора в режиме холостого хода определяются по формуле

$$\Delta Q_{xx} = \frac{U_H^2}{X_{CT}}, \quad (8)$$

где X_{CT} — индуктивное сопротивление цепи намагничивания трансформатора.

Отсюда регулирующий эффект трансформатора в режиме холостого хода равен

$$\alpha_{xx} = \frac{d(\Delta Q_{xx})}{dU_H} = \frac{d\left(\frac{U_H^2}{X_{CT}}\right)}{dU_H} = 2 \frac{\Delta Q_{xx}^*}{U_H^*} = 2, \quad (9)$$

где ΔQ_{xx}^* , U_H^* — соответственно, реактивная мощность и напряжение в относительных единицах при номинальном напряжении, $\Delta Q_{xx}^* = 1$; $U_H^* = 1$.

Реактивная мощность трансформатора резко меняется с изменения напряжения, подводимого к трансформатору, и может быть определена по формуле

$$\Delta Q_{CT} = \Delta Q_{xx} \left(1 \pm \frac{a}{100} \right), \quad (10)$$

где a – напряжение ответвления трансформатора, %.

Реактивные потери короткого замыкания трансформатора определяется по формуле

$$\Delta Q_{K3} = 3I_{НОМ}^2 X_T = 3I_{НОМ} U_T \quad (11)$$

где $I_{НОМ}$ – номинальный ток трансформатора;

X_T – индуктивное продольное сопротивление трансформатора;

U_T – падение напряжения на сопротивлении X_T

$$U_T = I_{НОМ} X_T.$$

Регулирующий эффект трансформатора по реактивной мощности, расходуемой в индуктивном продольном сопротивлении X_T , составляет

$$\alpha_{K3} = \frac{d(K^2 \Delta Q_{K3})}{dU_H} = \frac{d(K^2 3I_{НОМ}^2 X_T)}{dU_H} = \frac{d(K^2 3I_{НОМ} U_T)}{dU_H}. \quad (12)$$

Легко убедиться, что если представить $U_c = U_H \ll U_T$, при $U_c \rightarrow U_H$, где U_c – напряжение в сети 10 кВ, то дифференциал

$$d[K^2 3I_{НОМ} (U_H - U_c)] \rightarrow 0. \quad (13)$$

Следовательно, регулирующий эффект α_{K3} заметного влияния на режим напряжения в сети 10 кВ оказывать не может. Поэтому, суммарный регулирующий эффект трансформатора по реактивной мощности составляет

$$\alpha_{TP} = \alpha_{xx} \alpha_{K3} \approx \alpha_{xx} = 2. \quad (14)$$

Регулирующий эффект трансформатора по активной мощности, расходуемой в сопротивлении R_T при прохождении I_H , не рассматривается из-за малой величины этой мощности по сравнению с активной мощностью судовых электроприемников.

Таким образом, регулирующий эффект силового трансформатора определяется величиной $\alpha_{TP} = 2$. Такой регулирующий эффект по направлению имеет два аспекта: позитивный, способствующий стабилизации напряжения; и негативный, препятствующий встречному регулированию напряжения.

Штатный судовой электрический кабель 0,4 кВ от ПК до ШПВИ (см. рисунок 1). Регулирующие эффекты по активной мощности и реактивной мощности этого кабеля не могут оказывать заметного влияния на режим напряжения 0,4 кВ. Обусловливается это тем, что: потери активной мощности на сопротивлении R_H значительно меньше потребляемой активной мощности судовыми электроприемниками, на индуктивном сопротивлении кабеля X_H также незначительны, по сравнению с потребляемой судовыми электроприемниками реактивной устойчивостью.

Таким образом, анализ статических характеристик элементов электропередачи «берег-судно» позволяет выделить значимые регулирующие эффекты по напряжению ($\alpha = dQ/dU$), которыми обладают конденсаторная батарея и силовой понижающий трансформатор 10/0,4 кВ. Причем регулирующие эффекты этого электрооборудования имеют противоположные знаки ($\alpha_{K6} = -2$; $\alpha_{TP} = 2$), и по разному влияют на режим напряжения в фидере судовых электроприемников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Данилов, Г.А. Повышение качества функционирования линий электропередачи / Г.А. Данилов, Ю.М. Денчик, М.Н. Иванов, Г.В. Ситников; под ред. В.П. Горелова, В.Г. Сальникова. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2013. - 599 с.
- 2 Мастерова, О.А. Эксплуатация электроэнергетических систем и сетей: учебное пособие / О.А. Мастерова, А.В. Барская. - Томск: Томск. политехн. ун-в., 2006. - 100 с.
- 3 Синенко, Л.С. Электроснабжение: конспект лекций / Л.С. Синенко, Е.Ю. Сизганова, Ю.П. Попов. - Режим доступа: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/176/u_lectures.pdf. - 29.01.2018.

REFERENCES

- 1 Danilov G.A., Denchik Yu.M., Ivanov M.N., Sitnikov G.V. Povyshenie kachestva funktsionirovaniya linii elektroperedachi [Improving the power network operating quality]. Novosibirsk. Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. Publ. 2013. 599 p.
- 2 Masterova O.A., Barskaya A.V. Operation of electric power systems and networks [Ekspluatatsiya elektroenergeticheskikh sistem i setei]. Tomsk. Tomsk Polytechn. univ. Publ. 2006. 100 p.
- 3 Sinenko L.S., Sizganova E.Yu., Popov Yu.P. A compendium of lectures on electric power supply [Elektrosnabzhenie: kospekt lektsii]. -URL: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/176/u_lectures.pdf. 29 Jan. 2018.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: статические характеристики, элемент электропередачи, регулирующий эффект

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Смыков Юрий Николаевич, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»*
Зубанов Дмитрий Александрович, старший преподаватель ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, ведущий инженер ООО «Вымпелсетьстрой»
Сальников Василий Герасимович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Иванова Елена Васильевна, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Иванов Михаил Николаевич, канд. техн. наук, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*
644099, г.Омск, ул.И.Алексеева, 4, ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «СГУВТ»
117105, г.Москва, ул.Варшавское шоссе, 35, ООО «Вымпелсетьстрой»

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ТРАНСПОРТНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

И.Г. Фютик, О.В. Рослякова

ESTIMATION OF ENVIRONMENTAL SAFETY AND TRANSPORT ENVIRONMENTAL RISK IN THE RUSSIAN FEDERATION

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Ina G. Fyutik (Ph.D. of Economic Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

Oksana V. Roslyakova (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

ABSTRACT: The analysis of maintaining environmental safety compliance in today's economic situation in the Russian Federation is presented in this article. The study analyzed the statistical information on the level of environmental pollution, including the activities of transport, which can be used by the authorities to reduce environmental risks for human and environment.

Keywords: *environmental risk, environmental protection, ecological safety, environmental insurance*

Выполнен анализ выполнения требований экологической безопасности в современной экономической ситуации в РФ. В ходе исследования была проанализирована статистическая информация по уровню загрязнения окружающей среды, в том числе деятельностью транспорта, которая может быть использована органами власти с целью снижения экологического риска для человека и окружающей среды.

На современном этапе развития общества в силу ряда причин изменяется статус проблем безопасности, которые обусловлены воздействием разного уровня угроз, как глобальных, региональных и национальных, так и природно-техногенных, то есть социально-экологических. Специфика разрешения проблем национальной безопасности в современном российском обществе обусловлена неотделимостью стратегической политики безопасности от культурного и исторического развития общества и государства.

Актуальность проблемы экологической безопасности обусловлена тем, что в цивилизованных странах, наряду с прогрессивными сдвигами в обеспечении безопасности личности, расширяется диапазон опасностей, связанных с повышением техногенного и социально-экологического риска.

Во всем мире расширяются зоны хозяйственной и экономической деятельности, которые не достаточно регулируются правовыми нормами и законами, а значит, повышается уровень опасности экологических угроз в региональном, а затем и в глобальном масштабе. Происходящие и не прекращающиеся крупные экологические катастрофы последних лет должны повлиять на общественное мнение во всем мире по вопросу «общенациональной» окружающей среды. Природа не разделяется рамками административных и государственных границ, поэтому эпицентр мировой экологической катастрофы может возникнуть на любой точке планеты. Осознание этого миллионами людей во всем мире оказывает влияние на социально-политические установки и поведение широких групп населения. Применительно к сложившейся в исследовательских подходах [4] и правовой практике взаимосвязи личной, национальной и глобальной безопасности, а именно экологическая проблема становится интегральной, и неизбежно затрагивая каждое государство.

В российском законодательстве формулируется следующее понятие: «экологическая безопасность – это состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий» [5].

Экологическая безопасность касается промышленности, сельского и коммунального хозяйства, сферы услуг, области международных отношений, иными словами прочно входит в нашу жизнь, и ее важность и актуальность возрастает год от года. Анализируя систему экологической безопасности можно сформулировать взаимосвязь факторов и результатов оценки экологической безопасности (рисунок 1).

Непосредственное влияние факторов необходимо оценивать с количественной и качественно точки зрения [4]. Так критериями загрязнения окружающей среды могут выступать показатели естественного нарушенного состояния природных комплексов или фоновые параметры среды. Для этого разрабатываются нормативные показатели, характеризующие

меру возможного воздействия человека на природу, которые устанавливаются на основе специальных исследований или в результате экспертных оценок. Поскольку технологически, а нередко и экономически невыполнимо исключить выбросы вредных веществ в атмосферу и водоемы, приходится вводить нормы предельно-допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ. В практике мониторинговых наблюдений используются две основные группы нормативных показателей:

– санитарно-гигиенические, устанавливающиеся исходя из требований экологической безопасности населения (ПДК загрязняющих веществ в воздухе, воде, почвах и продуктах питания, а также нормы предельно-допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ в воздух и предельно-допустимых сбросов (ПДС) в водоемы);

– экологические, рассматривающиеся как мера антропогенного воздействия на экосистемы и ландшафты, при которой их основные функционально-структурные характеристики (продуктивность, интенсивность биотического круговорота, видовое разнообразие, устойчивость и др.) не выходят за пределы естественных изменений.

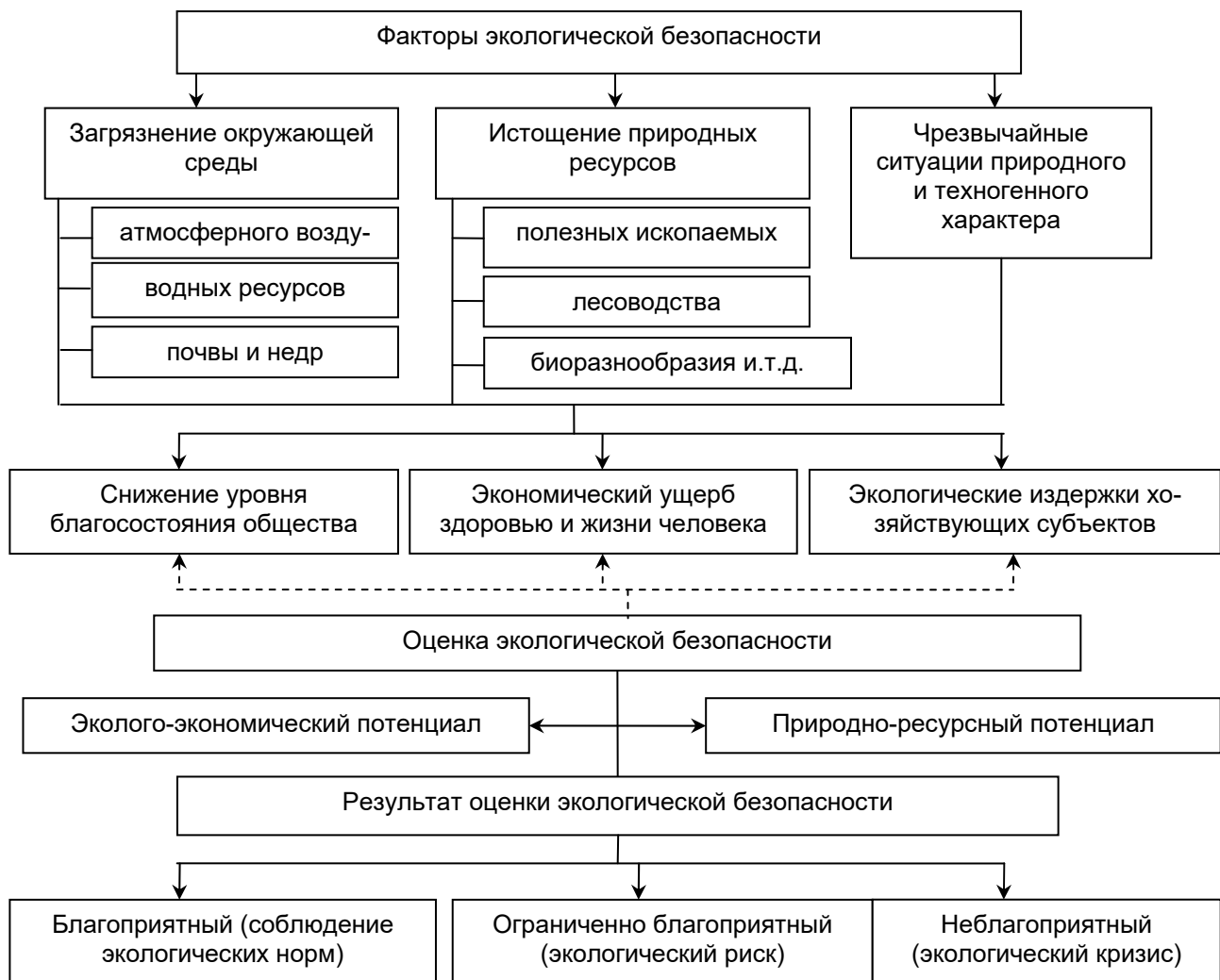


Рисунок 1 – Взаимосвязь факторов и результатов оценки экологической безопасности

При экономической оценке истощения полезных ископаемых используются такие параметры, как масштаб месторождения, определяемый его суммарными запасами; качество полезного ископаемого, характеризующее его составом и свойствами; мощность пластов и условия залегания; хозяйственное значение ресурса; годовой объем добычи.

Основными элементами оценки лесных ресурсов являются: общая площадь лесов оцениваемого объекта, суммарный запас древесины; концентрация запасов (запас на единицу площади), качество и структура древостоев (состав по породам, бонитетам, классам возраста); а также природные и экономические условия освоения.

Для водных ресурсов характерна сильная изменчивость во времени, начиная от суточ-

ных кончая вековыми колебаниями водообильности каждого источника. В ходе использования водные ресурсы остаются в природных каналах стока (водный транспорт, гидроэнергетика, рыбное хозяйство и т.д.) или возвращаются в круговорот воды (орошение, все виды хозяйственного и бытового водоснабжения), но это не уменьшает, а увеличивает негативное воздействие. Например, использование воды для растворения и транспортировки веществ или отходов, охлаждения тепловыделяющих агрегатов или в качестве теплоносителя ведет к качественным изменениям (загрязнение и нагрев) отходящих вод и самих источников водоснабжения [7].

Под экологической опасностью подразумевают экологические воздействия, в результате которых могут произойти изменения в окружающей среде, которые в свою очередь приведут к изменению условий существования человека и общества. К таким воздействиям относятся выбросы загрязняющих веществ в атмосферу (таблица 1), сбросы загрязненных сточных вод по бассейнам рек и морей, образование отходов производства и потребления (таблица 2), снижение биоразнообразия.

Таблица 1 – Выбросы загрязняющих атмосферу веществ стационарными и передвижными источниками [6] (2000-2005 гг. – по данным Министерства природных ресурсов Российской Федерации, с 2006 г. – по данным Росприроднадзора и Ростехнадзора. До 2005 г. включительно – выбросы от автомобильного транспорта; с 2006 г. – с учетом железнодорожного транспорта)

Период	Выброшено загрязняющих атмосферу веществ, всего	В том числе			
		стационарными источниками		передвижными источниками	
		абсолютно, тыс. т	доля, %	абсолютно, тыс. т	доля, %
2006 г.	35510	20568	57,9	14942	42,1
2007 г.	35532	20637	58,1	14895	41,9
2008 г.	33952	20103	59,2	13849	40,8
2009 г.	32754	19021	58,1	13733	41,9
2010 г.	32353	19116	59,1	13237	40,9
2011 г.	32628	19162	58,7	13465	41,3
2012 г.	32469	19630	60,5	12838	39,5
2013 г.	32063	18447	57,5	13617	42,5
2014 г.	31228	17452	55,9	13776	44,1
2015 г.	31269	17296	55,3	13973	44,7
2016 г.	31617	17349	54,9	14268	45,1

По данным таблицы 1 наблюдается незначительное снижение выбросов в абсолютном выражении, но в структуре доля передвижных источников к 2016 г. опять повышается, что возможно связано с объемом эксплуатируемых транспортных средств. Необходимо также проанализировать выбросы в расчете на душу населения (рисунок 2).

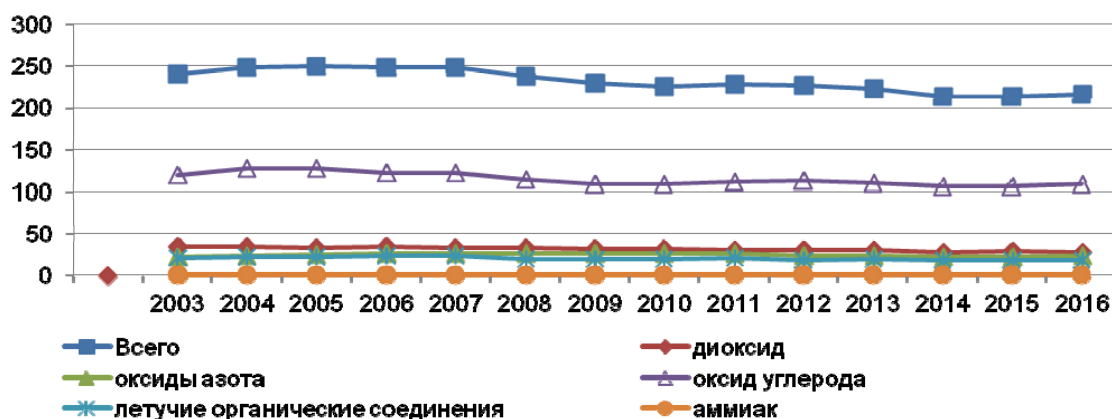


Рисунок 2 – Выбросы распространенных загрязняющих атмосферу веществ, кг/чел. в год [6]

При оценке выбросов учитываются все загрязнители, поступающие в атмосферный воздух как после прохождения пылегазоочистных установок находящихся на организованных источниках загрязнения, так и без очистки от организованных и неорганизованных источников загрязнения. Очистка газов, загрязняющих атмосферный воздух, представляет собой удаление загрязняющих веществ из состава газовойоздушной смеси, выходящей из ис-

точников загрязнения, с помощью специальных устройств, установок и оборудования, так же сюда включается обезвреживание, снижение токсичности, нейтрализация, дожиг и т.п.

В статистике охраны атмосферного воздуха выбросы в атмосферу загрязняющих веществ стационарными источниками отслеживаются на основании отчетности, а объемы выбросов от передвижных источников определяются расчетным путем. Исходными данными для проведения работ по оценке выбросов от отдельных видов передвижных источников (автомобильного и железнодорожного транспорта) являются: количество автотранспортных средств, зарегистрированных в субъекте Российской Федерации и городах, расположенных на его территории, полученные от ГУ ГИБДД МВД России и его территориальных органов, и количество израсходованного дизельного топлива, по данным территориальных управления ОАО «РЖД» по состоянию на отчетный год [8].

Водные ресурсы являются одними из наиболее важных и вместе с тем наиболее уязвимых компонентов окружающей среды. Их быстрое изменение под влиянием хозяйственной деятельности приводит к обострению таких проблем, как усиление водохозяйственной напряженности, недопустимо большие потери воды, снижение водности крупных рек и массовая гибель малых рек, истощение запасов и загрязнение подземных вод, загрязнение морей, усиление негативного влияния на состояние и условия воспроизводства рыбных запасов.

В настоящее время по масштабам накопления и по степени негативного воздействия на окружающую среду опасные твердые отходы становятся экологической проблемой века. Поэтому их сбор, удаление, детоксикация, переработка и утилизация одна из главнейших задач инженерной защиты окружающей среды.

В отечественной и мировой практике наибольшее распространение получили следующие методы переработки твердых бытовых отходов (ТБО): строительство полигонов для захоронения и переработки; сжигание отходов в мусоросжигательных заводах, компостирование с получением ценного азотного удобрения или биотоплива, ферментация, сортировка и утилизация ценных компонентов.

По оценке ряда специалистов, на современной стадии развития производства, которое в целом характеризуется преобладанием ресурсопотребляющих технологий и огромным накоплением отходов, наиболее приемлемым методом считается строительство полигонов для организованного и санкционированного хранения отходов с частичной их переработкой (методом прямого сжигания) (таблица 2).

Таблица 2 – Образование, использование, обезвреживание и размещение отходов производства и потребления в Российской Федерации, млн. т [6] (2003 г. – по данным Министерства природных ресурсов Российской Федерации, 2004-2009 гг. – по данным Ростехнадзора, с 2010 г. – по данным Росприроднадзора)

Годы	Образование отходов производства и потребления - всего	в том числе опасных*	Использование и обезвреживание отходов производства и потребления	Размещение отходов производства и потребления на объектах, принадлежащих предприятию - всего	Из них в местах	
					хранения	захоронения
2006 г.	3519,4	140,0	1395,8	2732,5	2189,1	543,4
2007 г.	3899,3	287,7	2257,4	2782,8	1746,1	1036,8
2008 г.	3876,9	122,9	1960,7	2517,3	1868,5	648,9
2009 г.	3505,0	141,0	1661,4	2334,2	1650,6	683,6
2010 г.	3734,7	114,4	1738,1	2227,5	1634,5	593,0
2011 г.	4303,3	120,2	1990,7	2584,4	1919,4	665,0
2012 г.	5008	113,7	2348,0	2912,0	2109,0	777,3
2013 г.	5152,8	116,7	2043,6	4897,7	4071,8	814,9
2014 г.	5168,3	124,3	2357,2	2951,4	2426,2	524,5
2015 г.	5060,2	110,1	2685,1	2333,1	1978,1	354,6
2016 г.	5441,3	98,3	3243,7	2620,8	2105,3	503,8

*-отходы производства и потребления с I по IV класс опасности для окружающей среды

Охрана диких животных в России осуществляется с соблюдением принципов научно-обоснованного управления популяциями, сохранения видового многообразия и генофонда. Помимо организованного промысла и охоты на охотничьих угодьях, которые занимают в России огромные площади, проводят биотехнические мероприятия. Их назначение: сохра-

нение и увеличение емкости охотничьих угодий, а также увеличение численности и обогащение видов промысловых животных. Широко используется также акклиматизация животных, то есть вселение их в новые места обитания с целью обогащения экосистем новыми полезными видами (таблица 3).

Таблица 3 – Искусственное разведение охотничьих ресурсов РФ, особей [6]

Вид охотничьих ресурсов	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Кабан	3035	3652	3642	3450	3172	3840	3185
Косули	83	124	301	343	487	496	707
Лось	26	140	38	191	38	63	49
Благородный олень	598	1232	1720	2149	2828	3605	4736
Пятнистый олень	1645	2378	2583	3139	3950	4394	4667
Лань	318	699	976	1126	1364	1705	1902
Муфлон	164	147	248	508	915	1087	1229
Сайгак	113	124	152	186	19	18	31
Медведи	3	6	13	7	6	8	7
Утки	2893	3289	3318	5201	7016	5969	5896
Куропатки	164	538	707	744	1791	2154	1292
Фазаны	6121	6413	10129	6195	12524	10410	10535

Аналогичными мероприятиями защиты от воздействия водного транспорта являются увеличение объемов рыбного разнообразия (таблица 4).

Таблица 4 – Выпуск молоди водных биологических ресурсов в объекты рыбохозяйственного значения РФ, млн. штук [6] (по данным Росрыболовства)

Период	Выпуск молоди	Из них:				
		осетровых	лососевых	сиговых	растительных	частиковых
2006 г.	7418,7	72,1	694,9	34,5	77,1	6533,6
2007 г.	7653,7	70,7	759,5	59,9	68,5	6689,5
2008 г.	7908,4	57,2	930,9	86,4	40,7	6788,6
2009 г.	9432,0	37,9	813,2	96,5	27,4	8451,4
2010 г.	10056,8	51,3	1110,0	109,2	24,0	8757,1
2011 г.	9777,7	47,1	958,5	150,0	29,8	8588,0
2012 г.	9940,3	45,2	929,9	19,8	27,7	8908,5
2013 г.	9275,6	55,3	1016,4	26,8	26,4	8149,3
2014 г.	8864,7	59,8	1073,0	48,7	25,5	7653,9
2015 г.	8974,8	58,5	993,4	95,7	27,4	7798,6
2016 г.	8980,6	61,2	1033,2	147,9	11,3	7724,2

Так как, экологическая безопасность является комплексом мер направленных на снижение вредных последствий деятельности промышленности и транспорта по выбросам в атмосферу. Ее можно определить как состояние защищенности биосферы и человеческого общества, а на государственном уровне – государства от угроз, возникающих в результате антропогенных и природных воздействий на окружающую среду. В понятие «экологическая безопасность» входит система регулирования и управления, позволяющая прогнозировать, не допускать, а в случае возникновения – ликвидировать развитие чрезвычайных ситуаций [5]. Динамика объема затрат на охрану окружающей среды в рамках экологической безопасности представлена в таблице 5.

Как было показано (см. рисунок 1), оценка факторов экологической безопасности, характеризуется тремя результирующими уровнями, в том числе крайние варианты (благоприятный и не благоприятный) чаще всего являются теоретическими, а реальная ситуация характеризуется экологическим риском.

В соответствии с Федеральным законом «Об охране окружающей среды»: «экологический риск – это вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера» [5]. Экологический риск может быть вызван чрезвычайными ситуациями природного и антропогенного, техногенного характера. К зонам чрезвычайной экологической ситуации относят территории, на которых в результате воздействия негативных антропогенных факторов происходят ус-

тойчивые отрицательные изменения окружающей среды, угрожающие здоровью населения, состоянию естественных экосистем, генофондам растений и животных (таблица 6).

Таблица 5 – Годовые затраты на охрану окружающей среды в РФ, млрд. руб. [6] (в фактически действовавших ценах на 01 января)

Показатель	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Охрана атмосферного воздуха, предотвращение изменения климата	60,7	64,1	76,8	60,1	80,1	88,4	89,2	93,3	112,4	102,8	102,3
Сбор и очистка сточных вод	111,7	126,8	159,3	162,2	169,2	197,1	186,4	204,4	223,4	234,1	235,6
Обращение с отходами	26,1	28,2	40,3	38,8	41,5	44,2	41,0	51,6	61,8	68,5	66,7
Защита и реабилитация земель, поверхностных и подземных вод	16,8	21,6	27,3	18,7	17,2	23,4	36,5	33,5	36,1	38,0	44,6
Сохранение биоразнообразия и охрана территорий	16,1	21,7	26,6	21,5	23,0	13,4	28,1	28,1	34,2	44,6	35,9
Прочие	27,9	32,8	38,3	42,1	41,5	45,6	64,5	68,6	68,3	94,2	106,2
Всего на охрану окружающей среды	259,2	295,2	368,6	343,4	372,4	412,0	445,8	479,4	536,3	582,1	591,2
Объем затрат на охрану окружающей среды, % к ВВП	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7

Таблица 6 – Общее число природных чрезвычайных ситуаций на территории РФ [6] (по данным ежегодного Государственного доклада «О состоянии защиты населения и территорий РФ от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» МЧС России)

Показатель	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Землетрясения, извержения вулканов	8	4	2	4	–	–	–
Опасные геологические явления (оползни, сели и т.д.)	0	–	1	1	1	0	2
Бури, ураганы, смерчи	3	2	9	6	10	4	6
Снежные лавины	1	–	–	1	–	–	–
Сильный дождь, снегопад, град	6	2	12	18	16	11	21
Заморозки, засуха	20	2	18	49	3	16	7
Отрыв прибрежных льдов	14	13	8	4	2	0	1
Опасные гидрологические явления	8	17	21	19	7	7	15
Крупные природные пожары*	58	25	77	11	5	7	2
Всего чрезвычайных ситуаций	118	65	148	114	44	45	54

*-природные пожары, площадь очагов которых составляет 25 Га и более для наземной охраны лесов; 200 Га и более - для авиационной охраны лесов

При оценке риска стихийных бедствий первоначально собирают фактические данные о природных опасностях на изучаемой территории, далее определяют их самые опасные типы и частоту проявления, затем составляют карту, отражающих вероятность развития опасных процессов. Оценка риска стихийных бедствий должна включать расчеты по числу погибших и пострадавших людей, а также экономических потерь. На основе анализа природных опасностей и уязвимости среды, выполненного совместно с проектировщиками, экономистами и социологами, оценивают риск и составляют карты риска. Эти карты, характеризующие территории различной степени риска, помогают эффективнее решать вопросы управления риском и планирования социально-экономического развития региона (области или страны в целом). При оценке допустимости экологического риска антропогенных воздействий учитывают следующие правила: неизбежность потерь в природной среде; минимальность потерь в природной среде; реальная возможность восстановления потерь в природной среде; отсутствие вреда здоровью человека и необратимых изменений в природной среде; соразмерность экологического вреда и экономического эффекта.

Естественно, что превышение пределов допустимого экологического риска на конкретных производственных предприятиях должно пресекаться по закону. С этой целью ограничивают или приостанавливают деятельность экологически опасных производств, а на стадиях принятия решений допустимый экологический риск оценивают с помощью государствен-

ной экологической экспертизы (аудита), и в случае его превышения, представленные для согласования материалы отклоняют.

Отличительной особенностью страхового экологического аудита является то, что в нем заинтересованы не только природоохранные органы, но и страховые компании, для которых проведение операций экологического страхования основывается на вовлечении в процесс страхования объектов, включенных в перечень предприятий, организаций, учреждений, а также использующих производства и вещества, представляющие потенциальную опасность для окружающей природной среды. Одним из важных инструментов, используемым при страховом аудите, является концепция риска. Успех деятельности аудитора зависит от полноты и надежности используемой информации по опасным объектам [3].

Объектом экологического страхования, в соответствии с нормами гражданского законодательства о возмещении ущерба, является риск гражданской ответственности, выражающейся в предъявлении страхователю имущественных претензий физическими и юридическими лицами. Основанием для применения экологического страхования является наличие риска аварийного, т.е. случайного загрязнения окружающей среды.

При анализе различных теоретических подходов можно определить множество подходов, например: риск это «частота реализации опасностей» или «вероятность появления неблагоприятного события» или «вероятность наступления нежелательного случайного события и связанные с ним потери» или «количественная мера опасности в отношении того, что ущерб или нежелательные последствия станут реальностью» и т.д.

По нашему мнению, риск аварийного загрязнения окружающей среды, в том числе транспортными предприятиями, можно определить как двумерную величину, включающую как вероятность возникновения экологической аварии, так и связанные с ней убытки

$$R = p_1 Y_1 + p_2 Y_2 + \dots + p_n Y_n = \sum p_i Y_i, \quad (1)$$

где p_i – вероятность возникновения i -ой аварии, $i = 1, 2, \dots, n$;

Y_i – ущерб от i -ой аварии.

Анализ и прогноз негативных изменений качества окружающей среды в результате природных и антропогенных воздействий становится все более актуальной проблемой. Поэтому аналогичный расчет может применяться для определения экологического риска природно-естественного характера. Если в течение периода (чаще всего года) может произойти несколько опасных событий, то показателем риска служит сумма ущербов от всех возможных событий [1]

$$R = \sum_{i=1}^n p_i U_i, \quad (2)$$

где R – количественная мера риска, выражаемая в стоимостных показателях, как и ущерб;

n – число возможных вариантов ущербов при наступлении неблагоприятного события, включая нулевой ущерб;

p_i – вероятность наступления неблагоприятного события (группы событий);

U_i – величина экологического ущерба в стоимостном выражении

$$U = \sum_{i=1}^n W_i C_i, \quad (3)$$

где W_i – обобщенная составляющая прогнозируемого вреда по различным компонентам окружающей среды;

C_i – цена i -ой составляющей вреда на единицу измерения с учётом его социально-экономического значения.

Так как, оценка ущерба от проявления факторов экологической опасности является одним из важнейших инструментов управления природоохранной деятельностью, то в промышленных странах оценка экологических ущербов напрямую связана с нарушением функционирования экономической системы при нанесении вреда окружающей среде. Тогда экологический ущерб $U_{\text{эколог}}$ рекомендуется определять как сумму ущербов от различных видов вредного воздействия на объекты окружающей природной среды [1]

$$U_{\text{эколог}} = \mathcal{E}_a + \mathcal{E}_s + \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_b + \mathcal{E}_o, \quad (4)$$

где $\mathcal{E}_a$ – ущерб от загрязнения атмосферы;

- Э_в – ущерб от загрязнения водных ресурсов;
 Э_п – ущерб от загрязнения почвы;
 Э_б – ущерб, связанный с уничтожением биологических (в том числе лесных) ресурсов;
 Э_о – ущерб от засорения (повреждения) территории обломками зданий, сооружений и оборудования.

Рядом российских нормативно-правовых актов заложены основы для оценки экологического риска в Российской Федерации. Опыт реализации таких положений в части возмещения экологического вреда и предоставления финансовых гарантий на этот случай, представлен в законах «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» №116-ФЗ от 21.07.1997 г. (ред. от 07.03.2017 г.), «О космической деятельности» № 5663-1 от 20.08.1993 г. (ред. от 13.07.2015 г.), «Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации» №81-ФЗ от 30.04.1999 г. (ред. от 20.12.2017 г.) и других. Таким образом, экологическое страхование и оценка экологического риска могут стать наиболее универсальным и перспективным инструментом обеспечения экологической безопасности и гарантированного возмещения вреда окружающей среде.

Страхование экологических рисков это действенный инструмент защиты интересов общества в случае, если хозяйствующий субъект не достаточно эффективно осуществляет деятельность по снижению риска нанесения ущерба окружающей среде, а также в случае банкротства предприятия или, например, предъявления исков на возмещение вреда, которые превышают финансовые возможности предприятия.

Одновременно страхование экологических рисков выступает как инструмент, способствующий социально-экономическому развитию страны, который стимулирует хозяйствующие субъекты к применению энергосберегающих и экологически чистых технологий. А система страховых тарифов в экологическом страховании должна стать стимулирующим фактором для внедрения на предприятиях эффективных технологий и проведения предупредительных природоохранных мероприятий по снижению риска нанесения ущерба окружающей среде и обеспечению экологической безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- 1 Бельская, Е.Н. Методика расчета экологических рисков / Е.Н. Бельская, О.В. Бразговка, Е.В. Сугак // Современные проблемы науки и образования. -2014. -№6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15755>. -19.01.2018.
- 2 Фроимсон, Л. Закон об экологическом страховании. -Режим доступа: http://mtk-exp.ru/zakon_ob_ekologicheskom_strahovaniiu. -19.01.2018.
- 3 Рослякова, О.В. Экологическая экспертиза, сертификация и аудит. Экологическое страхование: учебник / О.В. Рослякова, И.Г. Фюттик. -Новосибирск: Изд-во Сиб. Гос. Унив. Водн. Трансп., 2016. -373 с.
- 4 Никулина Н.Л. Экологические аспекты экономической безопасности региона: автореф дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Никулина Наталья Леонидовна. - Екатеринбург, 2008. -26 с.
- 5 Федеральный закон РФ от 10.01.2002 г. №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (ред. от 13.07.2015 г.) // СПС «КонсультантПлюс».
- 6 Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. -Режим доступа: www.gks.ru -05.03.2018 г.
- 7 Оценка природных ресурсов. -Режим доступа: <http://www.ceae.ru/ocenka-prirod-resurs.htm>. -05.03.2018 г.
- 8 Росприроднадзор: Оценка выбросов от передвижных источников №2-ТП (воздух). -Режим доступа: URL: <http://54.rpn.gov.ru>. -05.03.2018 г.

- 1 Bel'skaya E.N., Brazgovka O.V., Sugak E.V. Method of calculating environmental risks [Metodika rascheta ekologicheskikh riskov]. *Modern problems of science and education [Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya]*. 2014. No. 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15755>. -19 Jan. 2018.
- 2 Froimson, L. Environmental insurance Act [Zakon ob ekologicheskom strakhovanii]. URL: http://mtk-exp.ru/zakon_ob_ekologicheskom_strahovaniiu. -19 Jan. 2018.
- 3 Roslyakova O.V., Fyutik I.G. Environmental expertise, certification and audit. *Environmental insurance [Ekologicheskaya ekspertiza, sertifikatsiya i audit. Ekologicheskoe strakhovanie]*. -Novosibirsk: Siberian St. Univ. of Water Transp. Publ. 2016. 373 p.
- 4 Nikulina N.L. Ecological aspects of regional economic security [Ekologicheskie aspekty ekonomicheskoi bezopasnosti regiona]. *Ekaterinburg. Ural St. Univ. of Economics*. 2008. 26 p.
- 5 Environmental Protection Act. (Federal Law of Russian Federation №7-FZ from 10.01.2002, last amendment 13.07.2015) [Federal'nyi zakon RF ot 10.01.2002 №7-FZ «Ob okhrane okruzhayushchei sredy» (red. ot 13.07.2015)]. "Consultant-Plus" law reference system.
- 6 Federal State Statistics Service official website [Ofitsial'nyi sait Federal'noi sluzhby gosudarstvennoi statistiki]. URL: www.gks.ru -05 Mar.2018 g.
- 7 Evaluation of natural resources. Center for economic analysis and expertise [Otsenka prirodnkh resursov] URL: <http://www.ceae.ru/ocenka-prirod-resurs.htm>. -05 Mar.2018 g.
- 8 Mobile source pollution evaluation №2-TP (air) [Rosprirodnadzor: Otsenka vybrosov ot peredvizhnykh istochnikov №2-TP (vozdukh)]. URL: <http://54.rpn.gov.ru>. -05 Mar.2018 g.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экологический риск, охрана окружающей среды, экологическая безопасность, экологическое страхование

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Фюттик Ина Геннадьевна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Рослякова Оксана Вячеславовна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ВОДНЫМ ТРАНСПОРТОМ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

В.П. Зайцев, О.В. Рослякова, М.В. Клименко, А.И. Кирилук

METHODS OF REDUCING THE ENVIRONMENT POLLUTION WITH WATER TRANSPORT

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Valerii P. Zaytsev (Holder of an Advanced Doctorate in Chemical Sciences, Prof. of SSUWT)

Oksana V. Roslyakova (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

Maria V. Klimenko (Engineer of SSUWT)

Anna I. Kirilyuk (Senior Lecturer of SSUWT)

ABSTRACT: The article presents the results of reducing emissions experiment. The method involves reducing the level of harmful substances from river ships main engines operation working on water-in-fuel emulsion with additives of urea and quaternary ammonium salts.

Keywords: water-in-fuel emulsion, nitrogen oxides, quaternary ammonium salt, non-aqueous solutions, diesel fuel

Приведены результаты эксперимента по снижению выбросов с отработавшими газами судов речного флота при работе главных двигателей на водотопливной эмульсии с присадками мочевины и соли табак.

Нефтедержавные и сточные воды, мусор и выбросы в атмосферу можно отнести к основным эксплуатационным загрязнителям от судов водного транспорта. «Разработка способов существенного снижения вредного воздействия на окружающую среду в результате деятельности водного транспорта» – одно из основных научных направлений СГУВТ.

Практически весь современный транспорт в качестве топлива использует продукты переработки нефти, следовательно, по качественному составу выбросов он будет оказывать однотипное воздействие на природные комплексы. В совокупности все виды транспорта потребляют атмосферный кислород, участвуют в пополнении объема токсичных газов: оксидов углерода, азота и полициклических ароматических углеводородов. Существенное влияние на снижение выбросов в атмосферу оказывает вода в топливных системах [1, 2].

Были проведены исследования влияния воды в топливных системах на выбросы оксидов азота NO_x . На основании экспериментальных результатов, проводимых на двигателе 1Ч15/18 установлена одна из причин снижения интенсивности образования оксидов азота при переводе работы дизеля с мазута на водотопливную эмульсию (ВТЭ). Она определяется тем, что при использовании эмульсии существенно сокращается объем активной зоны камеры сгорания (КС), где возможно образование NO_x . Эти зоны характерны тем, что в них имеют место высокие значения концентраций кислорода и температур рабочего тела [1].

По результатам экспериментов можно отметить, что с увеличением содержания воды во ВТЭ выбросы оксидов азота существенно сокращаются на всех режимах работы двигателя. На рисунке 1 в качестве примера, представлена зависимость величины $\overline{\text{NO}_x} = \text{NO}_x / \text{NO}_{x_0} \cdot 100$, от концентрации C_w воды во ВТЭ для двигателя 1Ч15/18. Здесь обозначено: NO_x , NO_{x_0} – текущая концентрация оксидов азота и та же величина при $C_w = 0$. Опыты проводились на номинальном режиме. Содержание оксидов азота в отработанных газах определяли при помощи газоанализатора ПЭМ-2М. Из рисунка 1

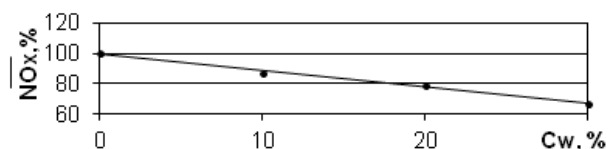


Рисунок 1 – Зависимость снижения выбросов $\overline{\text{NO}_x}$ оксидов азота от концентрации C_w воды во ВТЭ

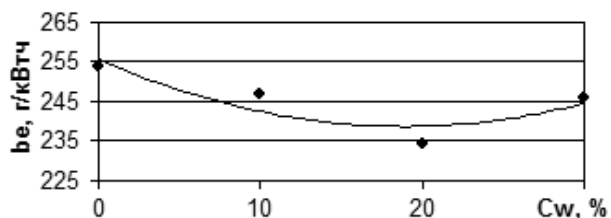


Рисунок 2 – Зависимость удельного эффективного расхода топлива от содержания воды во ВТЭ

следует, что в данных условиях величина $\overline{NO_x}$ с ростом C_w практически линейно снижается.

На рисунке 2 показано влияние присадки воды на удельный эффективный расход топлива. Из рисунка следует, что при номинальной величине $C_w = 20\%$ наблюдается снижение расхода топлива примерно на 10%.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение ВТЭ в двигателе 1Ч15/18 ведет к существенному снижению выбросов NO_x и повышению экономичности дизеля по расходу топлива.

В данной области было проведено еще две серии экспериментов:

- с присадкой к водной фазе ВТЭ мочевины;
- с присадкой к воде аммиака.

Эксперимент был проведен на ВТЭ, приготовленной на основе водного раствора мочевины. Эмульсию получали на стенде. Состав данной эмульсии был следующий: 80% – дизельное топливо, 19% – водный раствор мочевины, 1% – нефти (использовали для стабильности эмульсии). Концентрация мочевины в воде составляла 10% по массе.

Опыты проводились на двигателе 1Ч15/18 по нагрузочной характеристике. Результаты испытаний приведены на рисунке 3.

Из рисунка 3 следует, что переход с чистого дизельного топлива на ВТЭ несколько уменьшает выбросы оксидов азота. При использовании мочевины, присаживаемой к водной фазе ВТЭ, на долевых нагрузках ($P_e < 50\%$ от $P_{ен}$, где $P_{ен}$ – номинальная нагрузка) имеет место заметное снижение выбросов NO . Наоборот, при $P_e > 50\%$ выбросы оксидов азота возрастают. Это говорит о том, что данный метод приемлем лишь для вспомогательных дизелей, которые большую часть времени работают на долевых нагрузках.

Удельные эффективные расходы топлива в процессе исследования на номинальном режиме работы дизеля оказались следующими:

- на чистом дизельном топливе 255 г/(л.с.·ч);
- на ВТЭ с $C_w = 20\%$ 237 г/(л.с.·ч);
- на ВТЭ с $C_w = 20\%$ с присадкой мочевины 233 г/(л.с.·ч).

Таким образом, можно констатировать, что применение водотопливных эмульсий при работе дизеля ведет к существенному снижению выбросов NO_x и повышению экономичности дизеля по расходу топлива. Экспериментально установлено, что добавка к водной фазе ВТЭ (с $C_w = 20\%$) мочевины заметно уменьшает выбросы оксидов азота на долевых нагрузках (по нагрузочной характеристике) по сравнению со случаем использования аналогичной чистой эмульсии. Наоборот, при мощности более 50% от номинала экологические показатели дизеля ухудшаются по сравнению с исходным вариантом. Учитывая сказанное, данный метод можно рекомендовать для вспомогательных дизелей, которые, как правило, работают на долевых нагрузках. Добавка к водной фазе ВТЭ аммиака сокращает как выбросы азота, так и расход топлива. Для обеспечения безопасной работы обслуживающего персонала система приготовления такой ВТЭ должна быть закрытой.

Исследование состояния воды в неводных растворах, в частности в топливе расширяет границы эффективного использования водотопливных смесей, которые могут существовать не только в эмульсионном состоянии, но и в мицеллярном состоянии и в виде истинных растворов. Эффективность сгорания топлива в двигателе зависит от наличия в топливе добавок и присадок. Для повышения детонационной стойкости товарных бензинов применяют антидетонаторы на основе алкилзамещенных аминов. За рубежом широкое применение нашли ароматические амины – производные анилина ($C_6H_5NH_2$). Долгое время для оценки антидетонационной стойкости бензинов служил эталоном «анилиновый эквивалент» [3]. Таким образом, исследование состояния систем содержащих амины, соли аминов и четвертичных аммониевых оснований (ЧАО), представляют научный и практический интерес, поскольку

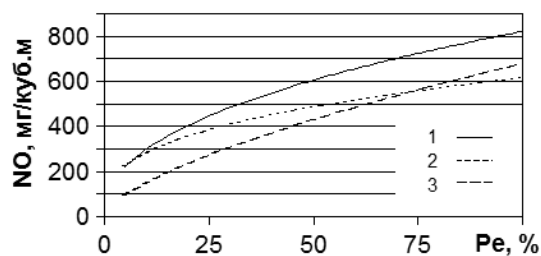
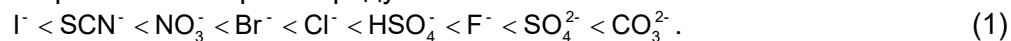


Рисунок 3 – Концентрация оксидов азота с присадкой мочевины: 1-работа на чистом дизельном топливе; 2-работа на 20% ВТЭ; 3-работа на 20% ВТЭ с мочевиной

открывают возможности целенаправленного выбора состава топливных смесей, которые удовлетворяли бы техническим и экологическим требованиям.

В качестве объекта исследования были выбраны соли ЧАО. Указанные соли, по сравнению с солями аминов, значительно соэкстрагируют воду в органическую фазу в результате их гидратации [4]. Исследование солей ЧАО в неводных растворах показали увеличение растворимости воды в органической фазе в ряду анионов



Из проведенных исследований следует, что наибольший интерес представляет соль триалкилбензиламмонийкарбонат (ТАБАК), где радикал алкил равен $\text{C}_7\text{--C}_9$. Соль, согласно ряда анионов (1), является высокогидратируемой, при термическом разложении аниона CO_3^{2-} в отличие от других ионов, не вносит в состав выхлопных газов новых примесей и не образует угарный газ CO .

Соль ТАБАК получена путем анионообменных межфазных реакций из товарной соли триалкилбензиламмонийхлорид растворенной в дизельном топливе. Насыщение топлива водой проводили посредством смешения фаз при соотношении $V_{\text{орг}} = V_{\text{в}} = 1000:100$. После расслаивания фаз, водную фазу удаляли. Испытания модифицированного топлива проводились на отсеке дизеля Ч10,5/12 по нагрузочной характеристике при частоте вращения коленчатого вала равном 1500 об/мин.

В результате испытаний было установлено, что присутствие соли ТАБАК и растворенной воды в модифицированном дизельном топливе приводит к снижению токсичных компонентов выхлопных газов – по окиси углерода до 40%, по окислам азота до 28%.

Таким образом, модификация дизельного топлива посредством добавления в него воды заметно улучшает экологические характеристики дизеля без его модификации и регулировок, что указывает на перспективность исследования топливных систем насыщенных водой и водотопливных эмульсий.

Отдельного внимания требует проблема загрязнения гидросферы нефтью и нефтепродуктами. Своевременная и эффективная очистка водных источников от нефтяных загрязнений является основной экологической задачей нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий, железнодорожного, водного и автомобильного транспорта, автозаправочных комплексов и станций.

В последнее время для удаления нефти и нефтепродуктов в воде большое значение приобретают адсорбционные механизмы с применением различных сорбентов. Наиболее перспективными сорбентами для ликвидации нефтяных загрязнений являются природные и органические сорбенты [5]. В связи с этим были исследованы возможности использования зоогуруса в качестве нового сорбирующего материала нефтепродуктов, полученного при обработке свиного навоза или куриного помета личинками *Musca Domestica* [6, 7].

Экспериментальные исследования сорбционных свойств зоогуруса проводились на модельных растворах, насыщенных нефтепродуктами. В качестве нефтепродуктов использовались дизельное топливо марки Л ($\rho = 0,86 \text{ г/см}^3$) и моторное масло марки М14В₂ ($\rho = 0,91 \text{ г/см}^3$). Модельные растворы готовились путем перемешивания 1 мл нефтепродукта в 1 л дистиллированной воды. После перемешивания двухфазная система отстаивалась в течение суток, затем фазы разделялись и водный раствор, насыщенный нефтепродуктом, использовался для исследования сорбционных свойств зоогуруса. Начальная концентрация дизельного топлива и машинного масла в воде составила 29,0 и 16,8 мг/дм³ соответственно.

Адсорбционное равновесие в системе «нефтесодержащая вода-сорбент» изучалось следующим образом. В исходные растворы добавлялся в различном количестве зоогурус, от 0,05 до 1 г, затем раствор перемешивался не менее 15 минут с помощью магнитной мешалки. После осаждения взвешенных частиц сорбента, полученные растворы анализировали на приборе КН-2 по аттестованной методике [8]. Все опыты проводили при комнатной температуре $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Величина равновесной адсорбции рассчитывалась по формуле

$$A_p = \frac{(C_0 - C)V}{m}, \quad (2)$$

где A_p – емкость адсорбента, мг/г;

C_0, C – начальная и равновесная концентрация нефтепродуктов в растворе соответственно, мг/л;

V – объем исследуемого раствора, л;

m – масса образца сорбента зоогумуса, г.

По результатам проведенной работы были построены изотермы адсорбции зоогумусом машинного масла и дизельного топлива, которые представлены на рисунке 4.

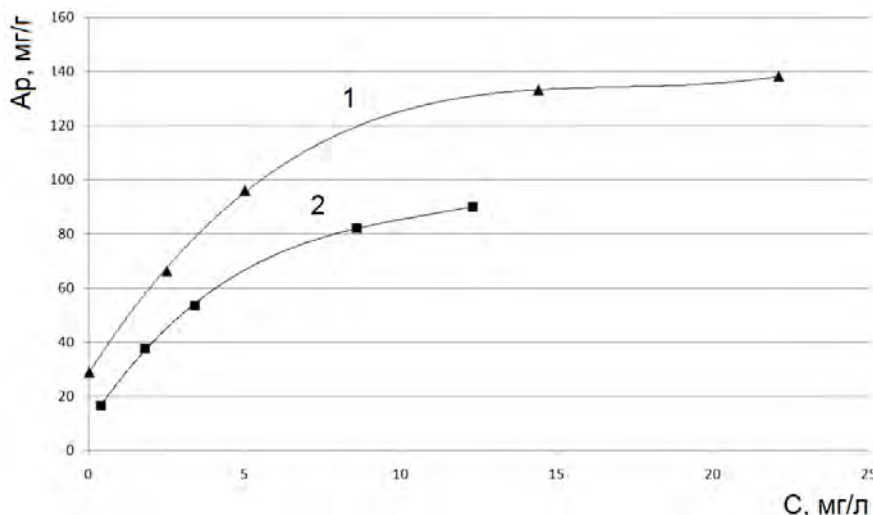


Рисунок 4 – Изотермы адсорбции нефтепродуктов зоогумусом: 1-дизельное топливо; 2-моторное масло

Из рисунка 4 видно, что зоогумус по отношению к исследуемым нефтепродуктам обладает положительной адсорбционной активностью: изотермы имеют выпуклую форму [9, 10].

Полученные изотермы адсорбции нефтепродуктов по классификации Гильса принадлежат к изотермам Ленгмюра [11] и хорошо описываются уравнениями Ленгмюра и Фрейндлиха [12]. Сравнение коэффициентов аппроксимации при линеаризации изотерм показывает, что высокая корреляция для моделей Ленгмюра и Фрейндлиха дает основания использовать эти теории для интерпретации равновесных данных по адсорбции нефтепродуктов. Из сравнения параметров в вышеуказанных уравнениях было установлено, что зоогумус имеет наибольшую сорбционную активность по отношению к дизельному топливу, чем по отношению к машинному маслу.

Необходимо отметить, что в состав сорбента входят до 15% гуминовых кислот и их соли [13]. Для полной оценки сорбционных свойств зоогумуса были исследованы ионообменные свойства сорбента для очистки воды от ионов тяжелых металлов [14], что может быть использовано для очистки технологических растворов.

Фекальные и хозяйственно-бытовые стоки вызывают биологическое загрязнение в связи с наличием в воде бактерий, грибов и других микроорганизмов. Некоторые микроорганизмы в воде могут повлечь за собой болезни, и даже смерть человека. В связи с этим обеззараживание стоков является крайне важным этапом в подготовке воды для сброса в водный источник.

Существует многообразие методов обеззараживания воды [15]. Одним из перспективных методов является гидродинамической кавитации. Важной особенностью этого метода является безреагентное обеззараживание больших объемов воды.

Обеззараживания воды методом гидродинамической кавитации происходит за счет механических сил, связанных с образованием и схлопыванием кавитационных пузырьков. Химические и электрохимические процессы при этом являются сопутствующими. Характер воздействия кавитации обусловлен морфологическими особенностями и функциональным состоянием микроорганизмов. Микроорганизмы, попадая в кавитационный пузырек, получают не только разрушение микробной клетки, но и также это ведет к ее функциональным изменениям.

Тестирование биоцидного действия гидродинамической кавитации проводилось на культурах, обладающих различной устойчивостью: прокариотические микроорганизмы – ки-

шечная и сенная палочки; аукариотические микроорганизмы – пекарские дрожжи. Было установлено, что процент выживания микроорганизмов зависит от скорости схлопывания пузырьков, которая зависит от размеров зоны кавитации, а также от температуры и pH воды при различных режимах работы кавитатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- 1 Рослякова О.В. Снижение интенсивности образования оксидов азота в судовых дизелях: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.08.05 / Рослякова Оксана Вячеславовна. -Новосибирск, 2005. -17 с.
- 2 Зайцев, В.П. Перспективы использования солей четвертичных аммониевых оснований для улучшения экологических характеристик двигателя внутреннего сгорания / В.П. Зайцев, Г.С. Юр, Н.В. Усова, Д.А. Сибриков, А.В. Карabanцев, М.Н. Карпушин // Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт: тр. 3-й междунауч.-техн. конф. (5-7 июня 2007) Иртышский филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»-Омск: Изд-во Иртышского филиала Новосибир. гос. акад. водн. трансп., 2007. -С. 261-262.
- 3 Сафронов, А.С. Автомобильные топлива / А.С. Сафронов, А.И. Ушаков, И.В. Чечкенов. -СПб.: НПИКЦ, 2002. -263 с.
- 4 Зайцев, В.П. Исследование состояния воды в неводных растворах солей четвертичных аммониевых оснований применительно к топливным системам / В.П. Зайцев, Н.В. Усова // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2005. - №1-2. С. 109-113.
- 5 Артемов, А.В. Сорбционные технологии очистки воды от нефтяных загрязнений / А.В. Артемов, А.В. Пинкин // -Вода: химия и экология. -2008. - №1. -С.19-25.
- 6 Зайцев, В.П. Доочистка судовых нефтесодержащих вод зоогумусом / В.П. Зайцев, М.В. Клименко, А.И. Голомянов // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2014. -№1-2. -С. 353-355.
- 7 Зайцев, В.П. Исследование сорбции нефтепродуктов зоогумусом на основе личинок *Musca Domestica* / В.П. Зайцев, М.В. Клименко // Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология: сб. мат-ов междунауч. конф. (18-22 апр. 2016 г.). -Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. унив. геосист. и технологий, 2016. Т.2. -С.174-179.
- 8 Лурье, Ю.Ю. Химический анализ производственных сточных вод / Ю.Ю. Лурье, А.И. Рыбникова. -М.: Химия, 1974. -336 с.
- 9 Когановский, А.М. Адсорбция органических веществ из воды / А.М. Когановский, Н.А. Клименко. -СПб.: Химия, 1996. -256 с.
- 10 Фролов, В.А. Процессы и аппараты химической технологии / В.А. Фролов. -СПб.: Химиздат, 2003. 608 с.
- 11 Парфит, Г. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел: пер. с англ./ Г. Парфит. Под ред. Г. Парфита, К. Рочерстера. -М.: Мир. 1986. -488 с.
- 12 Фролов, Ю.Г. Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю.Г. Фролов. -М.: Химия, 1982. -400 с.
- 13 Гудилин, И.И. Биотехнология переработки органических отходов и экология / И.И. Гудилин, А.Ф. Кондратов и др. -Новосибирск: Новосибирское книжное изд-во. 1999. -393 с.
- 14 Клименко, М.В. Сорбция ионов тяжелых металлов зоогумусом/ М.В. Клименко, В.П. Зайцев, А.И. Голомянов // Сиб. науч. вест. XVIII (Сиб. отд-ние Рос. Акад. естеств. наук). -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трасп., 2014. -С. 171-172.
- 15 Ивчатова, А.Л. Химия воды и микробиология / А.Л. Ивчатова, В.И. Малов. -М.: ИНРА-М. 2006. -218 с.

- 1 Roslyakova O.V. Reducing the intensity of nitrous oxide formation in marine diesels [*Snizhenie intensivnosti obrazovaniya oksidov azota v sudovykh dizelyakh*]. Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. Publ., 2005. 17 p.
- 2 Zaitsev V.P., Yur G.S., Usova N.V., Sibrikov D.A., Karabantsev A.V., Karpushin M.N. Prospects for the use of quaternary ammonium salts to improve the environmental characteristics of an internal combustion engine [*Perspektivy ispol'zovaniya soli chetvertichnykh ammonievnykh osnovanii dlya uluchsheniya ekologicheskikh kharakteristik dvigatelya vnutrennego sgoraniya*] // Power engineering, ecology, energy saving, transport [*Energetika, ekologiya, energosberezhenie, transport*]. Omsk: Irtysh branch of Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. Publ., 2007. pp. 261-262.
- 3 Safronov A.S., Ushakov A.I., Chechkenov I.V. Automotive fuels [*Avtomobil'nye topliva*]. St. Petersburg: NPIKTS Publ., 2002. 263 p.
- 4 Zaitsev V.P., Usova N.V. Investigation of the state of water in non-aqueous solutions of quaternary ammonium salts as applied to fuel systems [*Issledovanie sostoyaniya vody v nevodnykh rastvorakh soli chetvertichnykh ammonievnykh osnovanii primenitel'no k toplivnym sistemam*]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2005. No. 1-2. pp. 109-113.
- 5 Artemov A.V., Pinkin A.V. Sorptive oil contaminated water treatment [*Sorbtsionnye tekhnologii ochistki vody ot neftyanykh zagryaznenii*]. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2008. No. 1. pp.19-25.
- 6 Zaitsev V.P., Klimenko M.V., Golomyanov A.I. Ship oily water post-treatment using organic fertilizers [*Doochistka sudovykh neftesoderzhashchikh vod zoogumusom*]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2014. No. 1-2. pp. 353-355.
- 7 Zaitsev V.P., Klimenko M.V. Investigation of oily water treatment using organic fertilizers derived from *Musca Domestica* maggots [*Issledovanie sorbtitsii nefteproduktov zoogumusom na osnove lichinok Musca Domestica*]. *Earth remote Sensing, photogrammetry, environmental monitoring, geoecology* [*Distsionnye metody zondirovaniya Zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchei sredy, geoekologiya*]. Novosibirsk: Siberian St. Univ. Geosyst. and Technologies Publ. 2016. Vol. 2. pp.174-179.
- 8 Lur'e Yu.Yu., Rybnikova A.I. Chemical analysis of industrial wastewater [*Khimicheskoi analiz proizvodstvennykh stochnykh vod*]. Moscow: Khimiya Publ., 1974. -336 p.
- 9 Koganovskii A.M., Klimenko N.A. Adsorption of organic matter in water [*Adsorbtitsiya organicheskikh veshchestv iz vody*]. St. Petersburg: Khimiya Publ., 1996. -256 p.
- 10 Frolov V.A. Processes and equipment of chemical industry [*Protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii*]. St. Petersburg: Khimizdat Publ., 2003. 608 p.
- 11 G.D. Parfitt, C.H. Rochester (Eds.), *Adsorption from Solution at the Solid / Liquid Interface*, Academic Press, London, 1983, 416 p.
- 12 Frolov Yu.G. Surface phenomena and disperse systems [*Poverkhnostnye yavleniya i dispersnye sistemy*]. Moscow: Khimiya Publ., 1982. 400 p.
- 13 Gudilin I.I., Kondratov A.F. Biotechnology of organic waste processing and ecology [*Biotehnologiya pererabotki organicheskikh otkhodov i ekologiya*] Novosibirsk: Novosibirskoe knizhnoe Publ. 1999. - 393 p.
- 14 Klimenko M.V., Zaitsev V.P., Golomyanov A.I. Sorption of heavy metal ions using organic fertilizers [*Sorbtsiya ionov tyazhelykh metallov zoogumusom*] *Sibirskii nauchnyi vestnik*. Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad. Water Transp. Publ., 2014. Vol.18. pp. 171-172.
- 15 Ivchatov A.L., Malov V.I. Water chemistry and microbiology [*Khimiya vody i mikrobiologiya*]. Moscow: INRA-M Publ., 2006. -218 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

водотпливная эмульсия, оксиды азота, соль четвертичного аммониевого основания, неводные растворы, дизельное топливо

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Зайцев Валерий Павлович, докт. хим. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Рослякова Оксана Вячеславовна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Клименко Мария Викторовна, инженер ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Кирилюк Анна Игоревна, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ТРАНСПОРТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СБОРА ПЛАВАЮЩЕЙ ДРЕВЕСИНЫ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

В.В. Вьюгов, В.А. Седых, Е.С. Енаки

HYDROLOGICAL TRANSPORT RATIONALE FOR THE COLLECTION OF FLOATING WOOD FROM THE WATER SURFACE OF RESERVOIR

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Viktor V. V'yugov (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

Vitalii A. Sedykh (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

Ekaterina S. Enaki (Graduate student of SSUWT)

ABSTRACT: Paper considers various methods of towing the driftwood on the water surface by floating trawls: towing driftwood on the site, mounted on the stern of the ship; towing driftwood on a rope by one motor vessel; towing of driftwood by one ship by a trawl by the method of paravane (water kite); towing driftwood by two motor ships with a trawl.

Keywords: Novosibirsk reservoir, water surface trawling, driftwood

Рассмотрены различные способы буксировки карчи с водной поверхности плавающими тралями: буксировка карчей на площадке, смонтированной на корме судна; буксировка на тросе за одним теплоходом; буксировка одним теплоходом тралом по способу паравана; буксировка двумя теплоходами тралом.

Для сбора плывающего леса предлагается выполнять траление водной поверхности Новосибирского водохранилища плавающими тралями.

При этом предполагаются следующие зоны траления:

– Верхняя часть водохранилища – активное траление с необходимым пространством для маневрирования судов возможно на участке от п.Ерестная до с.Спирино.

Площадь траления около 20 км². На этом участке траление должно производиться в весенне-летний период, так как при этом собирается лес, поступающий с верховьев во время весеннего паводка.

– Нижняя часть водохранилища – участок от устья р.Бердь до устья р.Каракан. Траление необходимо производить в летнее-осенний период, когда собирается лес, попадающий в водохранилище, как с верхней Оби, так и вследствие ветроволновой переработки берегов. Площадь траления около 40 км².

Для буксировки плавающей древесины теплоходом пр.376 «Ярославец» рассмотрены несколько способов. В случае буксировки тралом скорость ограничивается не более 1 м/с.

В данном проекте приняты следующие параметры:

- в проекте принято два теплохода пр.376 «Ярославец» с двигателем ЯМЗ238Л;
- расстояние до места складирования – 50 км;
- время навигации с учетом штормовых дней – 120 сут.;
- время работы судов в светлое время суток – 1450 ч.

Для расчетов на ЭВМ в MATHCADе использованы следующие алгоритмы [1-4].

Расчет сопротивления воды движению судна. Последовательно рассчитываются следующие величины:

– Водоизмещение судна $V = LBT\delta$.

– Соотношения главных размерений $T_L = T/L$; $L_B = L/B$; $L_T = L/T$; $B_T = B/T$.

– Коэффициент пропорциональности k между сопротивлением трения и сопротивлением формы $k = (22T_L - 0,10)[0,132 + (\delta - 0,4)^{2,5}]$.

– Площадь смоченной поверхности судна $\Omega = V^{0,667}(5,1 + 0,074L_T - 0,4\delta)$.

– Кинематический коэффициент вязкости воды $\nu = 1,57 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

– Коэффициент, учитывающий шероховатость корпуса $\Delta C_F = 0,6 \cdot 10^{-3}$ (для стальных судов).

– Коэффициент сопротивления выступающих частей $C_{AP} = 0,2 \cdot 10^{-3}$.

– Коэффициент волнового сопротивления C_W (при $Fr \leq 0,1$ $C_W = 0$).

$$C_W = (2,23 - 0,325B_T + 0,02B_T^2) \left\{ \left[0,606 - 1,88(\delta - 0,4)^2 \right] \cdot \left[(Fr - 0,1)^{4,2-9,6(\delta-0,4)^2} + 0,001(Fr - 0,1)(16,5 - 3,53L_B + 0,188L_B^2) \right] \right\}.$$

– Число Рейнольдса

$$Re = \nu L / \nu.$$

– Число Фруда

$$Fr = \nu / \sqrt{gL}.$$

– Экстраполятор трения

$$C_F = \frac{0,455}{(\lg Re)^{2,58}}.$$

– Динамический коэффициент

$$A = 0,5\rho\nu^2\Omega.$$

– Сопротивление трения

$$R_F = A(C_F + \Delta C_F).$$

– Сопротивление формы

$$R_{VP} = kR_F.$$

– Волновое сопротивление

$$R_W = AC_W.$$

– Сопротивление выступающих частей

$$R_{AP} = AC_{AP}.$$

– Полное сопротивление

$$R = R_F + R_{VP} + R_W + R_{AP}.$$

Тяга теплохода рассчитана на ЭВМ в MATHCADe по его ходовым характеристикам с учетом перегрузки двигателя в режиме гидродинамически тяжелого винта. Исходные данные: $\nu = 5,7$ м/с; $R = 12$ кН; $P_D = 140$ кВт; $n = 1500$ мин-1; $Z_L = 4$; $A_E/A_0 = 0,6$; $D = 0,85$ м; $P_p/D = 0,94$; $K_{QD} = 0,079$.

Алгоритм расчета:

– Коэффициент попутного потока

$$W_T = 0,043\delta + \frac{0,16\delta^x}{x} \sqrt{\frac{3V}{D}}.$$

– Коэффициент момента двигателя

$$K_{QD} = P_D / 2\pi\rho n^3 D^5.$$

– Относительная поступь J варьируется от 0 до расчетной.

– Коэффициент упора $K_{TD} = f(J, P_p/D)$ (по диаграмме).

– Коэффициент момента $K_{QD} = f(J, P_p/D)$ (по диаграмме).

– Момент $M = K_{QD}n^2D^5$.

– Частота вращения $n = \sqrt{M/K_{QD}D^5}$.

– Скорость движителя $\nu_p = nDJ$.

– Скорость судна $\nu = \nu_p / (1 - W_T)$.

– Упор движителя $T_D = K_{TD}\rho n^2D^4$.

– Осевая вызванная скорость $\omega_p = 0,75 \left[-\nu_p + \left(\nu_p^2 + \frac{2T_p}{\rho A_0} \right)^{0,48} \right]$.

– Коэффициент засасывания $t_p = 2 \frac{W_T\nu_p + 0,5t_0\omega_p}{2\nu_p + \omega_p}$.

– Мощность располагаемая $P_S = 2\pi\rho K_{QD}n^3D^5/\eta_S$.

– Тяга аппроксимирована в следующим выражением

$$T_E = 12,1 + 0,0807\nu - 0,031\nu^2.$$

Скорость буксировки карчей определяется методом численного решения уравнения ходкости, то есть уравнения тяги и сопротивления.

Расчет сопротивления воды движению карчей различен для различных способов буксировки. Предварительные расчеты аппроксимированы в удобной для расчетов форме – в долях от сопротивления теплохода.

Способ 1. Буксировка карчей на площадке, смонтированной на корме судна (рисунок 1).



Рисунок 1 – Буксировка на площадке, смонтированной на корме судна

Для этого способа необходима установка на корме теплохода шлюпбалки, которая используется и для складирования на берег. Теплоход с такой балкой может быть использован для профилактики смыва древесины, подмытой и упавшей на берегах, но еще не смытой в свободную воду.

– Сопротивление одной карчи $R_k = 0,2R$.

– Скорость буксировки по вариантам (км/ч): 11 (одна карча) – 19,8; 12 (две карчи) – 19,2; 13 (три карчи) – 18,70. Скорость теплохода порожнем (без буксировки карчи) – 20,52 (рисунок 2).

– Рекомендуемая частота вращения двигателя по вариантам (об/мин): 11 (одна карча) – 1470; 12 (две карчи) – 1450; 13 (три карчи) – 1430; порожнем – 1500.

Время кругового рейса рассчитывается путем сложения ходового времени порожнем и с карчами и времени технологической работы (вылов, погрузка, разгрузка). Время на технологические операции принято равным 2 ч.

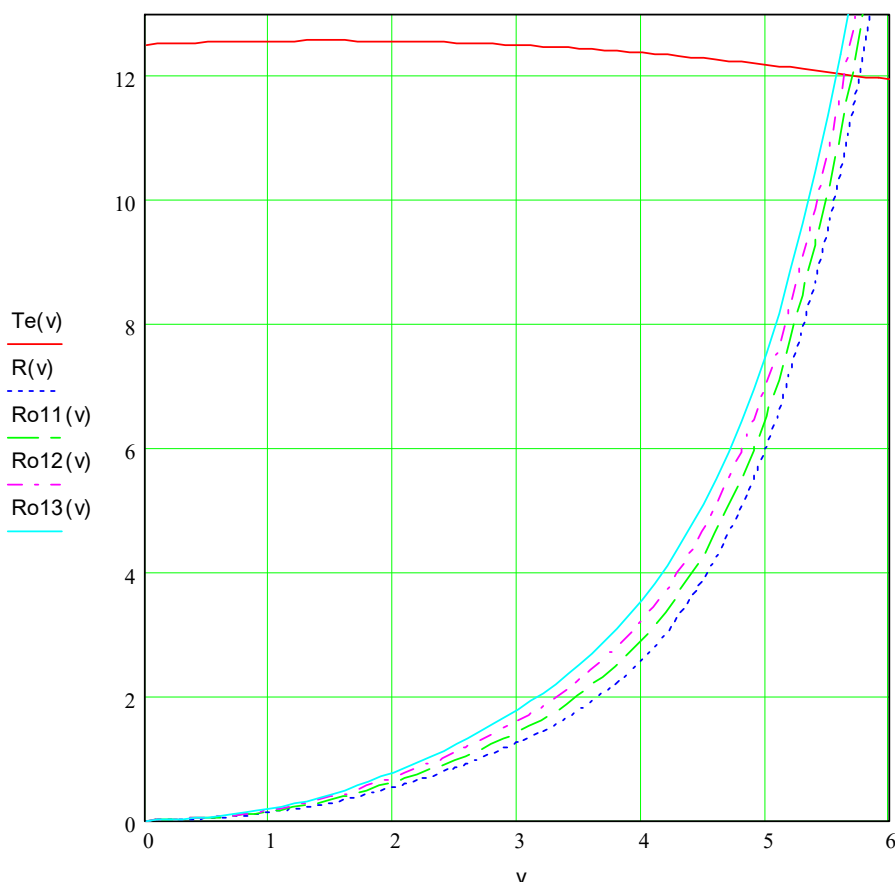


Рисунок 2 – К расчету ходкости теплохода пр.376 с карчами на кормовой площадке

По первому способу рассмотрены следующие варианты буксировки карчей:

- Вариант №1 – скорость буксировки на площадке одной карчи;
- Вариант №2 – скорость буксировки на площадке двух карчей;
- Вариант №3 – скорость буксировки на площадке трех карчей;

Время кругового рейса рассчитывается путем сложения ходового времени легкачом и с карчами и времени технологической работы (вылов, погрузка, разгрузка). Время на технологические операции принято равным 2 ч.

Результаты расчетов представлены в таблице.

Способ 2. Буксировка карчей на тресе за одним теплоходом (рисунок 3).

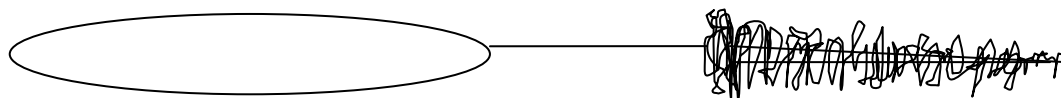


Рисунок 3 – Буксировка карчей на тресе за одним теплоходом

В этом случае скорость буксировки уменьшается, а, кроме того, утрачивается профилактическая функция и возможность складирования на берегу.

Сопротивление одной карчи $R_k = 0,4R$.

По второму способу предложены следующие варианты:

- Вариант №4 – скорость буксировки на тресе одной карчи;
- Вариант №5 – скорость буксировки на тресе двух карчей;
- Вариант №6 – скорость буксировки на тресе трех карчей;

Результаты расчетов представлены в таблице.

Способ 3. Буксировка одним теплоходом тралом по способу паравана (рисунок 4).

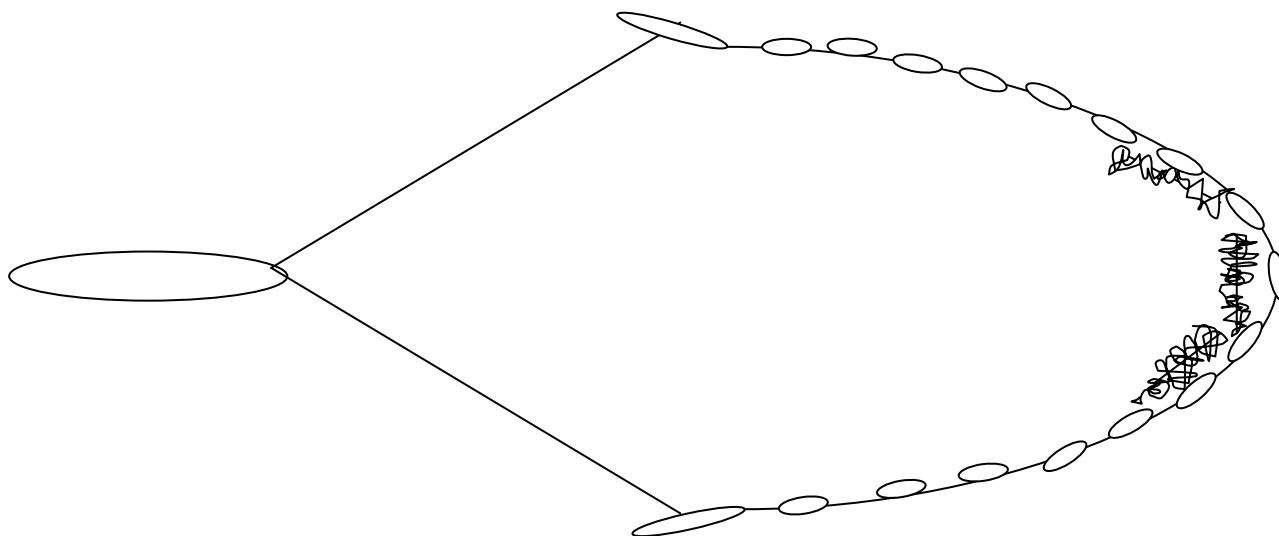


Рисунок 4 – Буксировка одним теплоходом тралом по способу паравана

Сопротивление одной карчи $R_k = 1,5R$. Сопротивление трала $R_{тр} = 3,5R$.

По третьему способу рассмотрены следующие варианты:

- Вариант №7 – скорость буксировки в кошеле десяти карчей карчи;
- Вариант №8 – скорость буксировки в кошеле двадцати карчей;
- Вариант №9 – скорость буксировки в кошеле тридцати карчей;
- Вариант №10 – скорость буксировки в кошеле сорока карчей;
- Вариант №11 – скорость буксировки в кошеле пятидесяти карчей;
- Вариант №12 – скорость буксировки в кошеле шестидесяти карчей;

Скорость теплохода с пустым тралом - $V = 14,51$ км/ч.

Скорость из условия избежания подныривания карчей под трал ограничена величиной 3,6 км/ч.

Результаты расчетов представлены в таблице.

Способ 4. Буксировка двумя теплоходами тралом (рисунок 5).

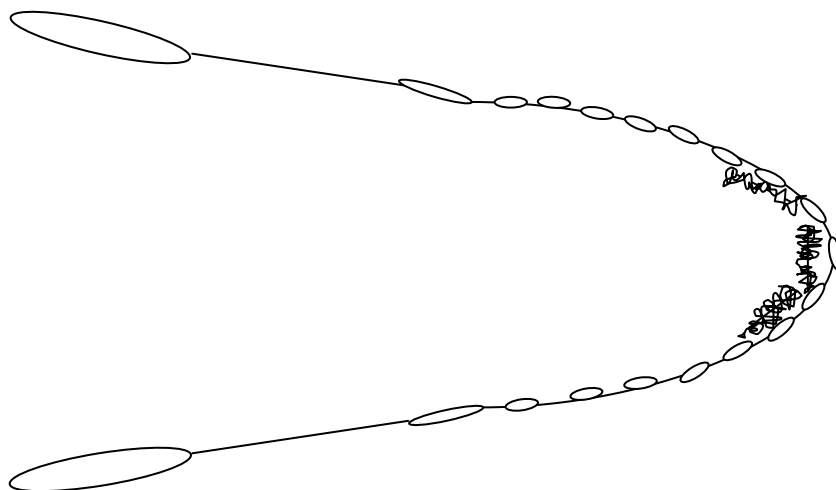


Рисунок 5 – Буксировка двумя теплоходами тралом

Результаты расчетов представлены в таблице.

Скорость из условия избежания подныривания карчей под трал ограничена величиной 3,6 км/ч.

По четвертому сбор плавающей древесины с акватории водохранилища с помощью плавающего трала и двух теплоходов рассмотрены следующие варианты:

- Вариант №13 – скорость буксировки двадцати карчей карчи;
- Вариант №14 – скорость буксировки сорока карчей;
- Вариант №15 – скорость буксировки шестидесяти карчей;
- Вариант №16 – скорость буксировки восьмидесяти карчей;
- Вариант №17 – скорость буксировки ста карчей;
- Вариант №18 – скорость буксировки ста тридцати карчей;

Скорость теплохода с пустым тралом – $V = 16,6$ км/ч.

Результаты расчетов представлены в таблице.

Таблица – Сводная таблица по определению производительности сбора плавающей древесины

Способ сбора плавающей древесины	Вариант	Обороты двигателя, об/мин	Скорость буксировки, км/ч	Время кругового рейса, ч	Количество перевезенных карчей, шт	Объем собранной древесины, м ³
I способ – Буксировка карчей на площадке, смонтированной на корме судна	1	1470	19,8	6,96	208	52
	2	1450	19,2	7,04	412	103
	3	1430	20,5	7,11	611	153
II способ – Буксировка на тросе за одним т/х	4	1450	19,3	7,03	206	51
	5	1410	18,3	7,17	404	101
	6	1380	17,5	7,29	596	149
III способ – Буксировка одним теплоходом тралом по способу паравана	7	1210	7,7	19,3	750	188
	8	1213	6,0	19,3	1500	375
	9	1209	5,0	19,3	2250	563
	10	1207	4,3	19,3	3000	750
	11	1205	3,9	19,3	7500	1875
	12	1203	1,0	19,3	4810	1203
IV способ – Буксировка двумя теплоходами тралом	13	1228	8,1	18,9	1530	383
	14	1214	6,1	18,9	3060	765
	15	1210	5,1	18,9	4590	1148
	16	1208	4,2	18,9	6120	1530
	17	1207	4,1	18,9	7670	1918
	18	1206	1,0	18,9	9974	2494

Примечание: I и II способ применяется в случае одиночно плавающей древесины и позволяет наполнять емкости для временного хранения древесины; III способ-применяется при корчеходах средней интенсивности; IV способ-применяется при значительных корчеходах

Таким образом, в результате расчетов рассматривается вариант максимального плеча транспортировки карчей до складов временного хранения – 50 км. В реальных условиях при

наполнении кошеля лесом погрузка на баржи может происходить непосредственно на акватории и тем самым количество леса собранного с поверхности водоема может возрасти в 2-3 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Домогашев, В.Н. Определение скорости карчи при прогнозировании объема карчехода / В.Н. Домогашев. - Красноярск: Минавтодор РСФСР, 1982. - 5 с.
- 2 Дурнев, С.В. Проектирование лесосводки и лесочистки в зонах затопления водохранилищ. / С.В. Дурнев // Тр. Гидропроекта. - М.: Наука, 1969. - С. 180-196.
- 3 Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. / Под ред. Р.С. Чалова, Е.М. Плескевича, В.А. Баулы. - Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. - 300 с.
- 4 Судольский, А.С. Динамические явления в водоемах / А.С. Судольский. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. - 263 с.

REFERENCES

- 1 Domogashev V.N. Determination of driftwood speed when predicting the amount of the wood drift [Opredelenie skorosti karchi pri prognozirovanii ob'ema karchekhoda]. Krasnoyarsk. Ministry of Roads Russian Soviet Federated Socialist Republic Publ. 1982. 5 p.
- 2 Durnev, S.V. Design of forest logging in the flooding zones of reservoirs [Proektirovanie lesosvodki i lesochistki v zonakh zatopleniya vodokhranilishch]. Trudy Gidroprojekta. Moscow. Nauka Publ. 1969. pp. 180-196.
- 3 Chalov R.S., Pleskevich E.M., Baul V.A. Ruslovyte protsessy i vodnye puti na rekakh Obskogo basseina [River processes and waterways on Ob river basin]. Novosibirsk. RIPEL plus Publ. 2001. 300 p.
- 4 Sudol'skii A.S. Dynamic phenomena in water bodies [Dinamicheskie yavleniya v vodoemakh]. Leningrad. Gidrometeoizdat Publ. 1991. 263p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Новосибирское водохранилище, траление водной поверхности, карча
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Вьюгов Виктор Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Седых Виталий Алексеевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Енаки Екатерина Сергеевна, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

НАТУРНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ БЕРЕГОВОЙ ПОЛОСЫ ВОДОХРАНИЛИЩА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

В.А. Седых, Е.С. Енаки, Е.М. Сорокин

FIELD RESEARCH OF THE RESERVOIR FORESHORE

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia
Vitalii A. Sedykh (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)
Ekaterina S. Enaki (Graduate student of SSUWT)
Evgenii M. Sorokin (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

ABSTRACT: The article describes the field research of the right-bank and the left-bank sides of the Novosibirsk reservoir.

Keywords: Novosibirsk reservoir, , coastal strip, bank erosion, reservoir bank transformation, wind-generated waves

Выполнено натурное обследование правобережной и левобережной частей Новосибирского водохранилища.

В период 2015-2017 гг. было выполнено натурное обследование береговой полосы Новосибирского водохранилища с целью оценки интенсивности разрушения берегов.

В составе обследования выполнялись необходимые измерения, фотографирование, опрос местных жителей, описание прибрежных отмелей, клифов, балок, логов и т.д.

В результате выполнено обследование правобережной и левобережной частей водохранилища с фиксированием контрольных точек обследования по системе GPS.

Объектами исследования были:

– Участок у поселка Береговое (левый берег водохранилища), протяженностью 2,1 км (рисунок 1). В пределах участка, протяженностью 2,1 км, береговая линия имеет вогнутую форму. Береговая полоса участка представлена третьей террасой с ровной покатою к водохранилищу поверхностью с абсолютными отметками 115-126 м. Терраса сложена сверху пылеватыми суглинками.

Строения поселка Береговое удалены от бровки на 200-250 м и расположены вдоль берега, вытянутого в широтном направлении. Ниже по течению от поселка располагаются скотные дворы, пашни.

В непосредственной близости от берега (2-3 км) расположены острова, создающие препятствие для развития волнения от господствующих ветров.

Действующие направления ветра для этого участка от юго-западного до восточного (через юг) с разгонами от 3,5 до 13 км.

Разрушение берега происходит в виде отколов небольших масс супесчаного грунта по

вертикальным трещинам. Обрушенный материал скапливается у подножия уступа. Высота уступа – 1,5-2,5 м у поселка и 2-5 м – у скотных дворов и ниже.

При высоких уровнях, близких к нормальному подпорному уровню (НПУ), происходит абразия уступа. За период 1978-1990 гг. средняя ширина переработки берега составила 40 м, наибольшая ширина переработки – 80 м в верхней части участка. Переработке подверглось 8,65 Га береговой полосы. В нижней части участка, в результате переработки берега, разрушен причал рыбоприемного пункта.

Прибрежная отмель из мелкого неоднородного песка является продолжением берегового склона, затопленного при НПУ. Отмель пологая. Ширина отмели – 300-600 м.

По прогнозу в первое десятилетие отступление берега должно быть в среднем около 40 м, наибольшее отступление – 70 м в верхней части участка. В 50-летнюю стадию бровка отступит в среднем на 160 м, наибольшее отступление – до 300 м в верхней части участка.

Фактически по результатам обследования установлено, что отступление берега на сегодняшний день соответствует прогнозу. При этом отмечается отчетливо выраженная стабилизация береговой полосы, и основная переработка берегов идет за счет выравнивания береговой линии.

– Участок у села Красный Яр (Нефтебаза), длиной 1,0 км (левый берег водохранилища).

Участок длиной 1 км расположен в пределах третьей надпойменной террасы в 2 км ниже села Красный Яр (рисунок 2). В пределах участка берег имеет в основном высоту 6,0-7,0 м; только в нижней части высота берега около 4,0 м.

Берег сложен пылеватыми супесями. Тип обрушения – обвально-осыпной. За период с 1978-1990 гг. берег отступил на 12-25 м. По материалам корректировки съемки М1:10000: ширина прибрежной отмели около 100 м; глубина на гребне свала 2-2,5 м от НПУ.

В районе причала берег закреплен обломками различных железобетонных элементов.

Согласно прогнозу переработки берега за ближайшие 10 лет бровка отступит на 15-20 м, не угрожая строениям нефтебазы. В 50-летнюю стадию бровка отступит на 70-100 м и подойдет к территории нефтебазы [1, 2].

По результатам последнего обследования береговая полоса практически не была подвержена разрушениям в районе причала и выше по течению, на что указывает задернованность склонов и отсутствие свежих разрушений.

– Участок у села Красный Яр (Хлебоприемный пункт), длиной 1,9 км (левый берег водохранилища). Участок длиной 1,9 км расположен в пределах третьей надпойменной террасы.



Рисунок 1 – Форма разрушения берега в виде отколов небольших масс супесчаного грунта по вертикальным трещинам



Рисунок 2 – Обрывистый берег в районе с. Красный Яр

Рельеф поверхности береговой полосы, протягивающейся с севера-востока на юго-запад, постепенно снижается (рисунок 3).

В юго-западной части участка в результате затопления понижения в рельефе образовался залив и выделился мыс между заливом и урезом водохранилища. Протяженность мысовой части участка около 300 м.

В пределах средней части мыса берег имеет высоту 1,5-2,0 м и сложен пылеватыми песками, покрытыми почвенным слоем, задернован. Процесс размыва происходит следующим образом: волной из абразионного уступа вымываются песок и мелкие частицы, а дерновой слой оседает и постепенно размывается. В этой части, за период 1980-1990 гг., отступление берега составило 15-25 м. По данным корректировки съемки, выполненной для технико-экономических расчетов (ТЭР), отмель до свала глубин имеет ширину около 50 м. Глубина на гребне свала около 2,0 м. В 90 м от бровки глубина при НПУ около 6,0 м.



Рисунок 3 – Причал хлебоприемного пункта

Ниже пристани хлебоприемного пункта (ХПП) (элеватора) берег имеет высоту от 2,0 до 3,5 м, сложен пылеватыми супесями. Тип обрушения при подмыве основания обвальнo-осыпной. За период 1980-1990 гг. берег отступил на 15-30 м. Размыв береговой полосы происходит неравномерно в виде отдельных широких цирков и бровка имеет на протяжении волнистый вид, вдающийся в территорию. Ниже по берегу поверхность осложнена серией логов-вершин старого оврага, основание которого затоплено при создании водохранилища. Ширина прибрежной отмели 40-80 м. Глубина на гребне при НПУ около 2 м. Свал глубин в этой части более пологий, чем в верхней части (на мысовом участке).

В центре участка, выступающем в водохранилище и мало подверженном переработке, благодаря упрощенной защите камнем, расположена пристань элеватора.

По прогнозу за ближайшие 10 лет отступление берега выше территории ХПП составит 15-20 м, ниже территории ХПП (в районе оврагов) – до 30 м. Строения не пострадают. В 50-летнюю стадию в верхней части участка берег должен отступить до 60 м, будет смыта мысовая часть участка [1-3].

В настоящее время причал разрушен, ХПП разрушен, строения не функционируют (рисунок 3). Берег стабилизировался, зарос кустарником, процесс оврагообразования стабилизировался.

– Участок в районе р.п.Ордынское (ХПП и ул. Обская), длиной 2,0 км (левый берег водохранилища).

Участок расположен в пределах надпойменной террасы, имеющей наклон к водохранилищу 11°-12°. Береговой склон сложен мелкозернистыми песками и супесями и открыт для волн от южного до юго-западного направлений.

На участке формируется абразионно-аккумулятивный тип берега. Разрушающийся склон имеет вид отвесного уступа высотой до 1,5 м в верхней части и короткой крутой осыпи такой же высоты в нижней. Разрушение надводной части берега под воздействием ветровых волн происходит в виде обвалов и сползаний рыхлых отложений верхней части склона. Небольшая ширина надводного пляжа, не превышающая при НПУ 1,5 м, почти не препятствует размыву обрушенной породы.

Отступление берега за сезон колебалось в пределах 0,5-3,1 м. Общее отступление бровки за 1959-1970 гг. составило 29 м при объеме переработки 65 м² на 1 пог. м. За период 1980-1999 гг. в районе ХПП и улицы Обская отступление берега в среднем составило 15 м,

наибольшее отступление – 30 м.

Формирование прибрежной отмели происходит под воздействием ветрового волнения и стоковых течений, усиливающихся в этой части при сработке и наполнении водохранилища.

Отмель абразионно-аккумулятивного типа сложена разнотерными песками с преобладанием крупнозернистых в приустьевой зоне и на надводном пляже.

Зона повышенной абразии отмели начинается от глубины 2,0 м и продолжается до уреза. Аккумулятивные процессы наблюдаются на свале и шлейфе отмели (ниже ХПП в районе улицы Обской).

Рост ширины отмели происходит в основном за счет отступления берега. Внешний край под воздействием волнения и течений меняет свои очертания.

По прогнозу в ближайшее десятилетие отступление берега на всем протяжении составит от 10 до 20 м, только выше участка в районе оврагов отступление берега достигнет 30-40 м. В 50-летнюю стадию переработки отступление берега составит от 40 до 70 м.

По результатам обследования на данном участке сохраняется общая тенденция к стабилизации устойчивости берегов, отмеченная на нижележащих участках.

– Участок в районе села Кирза длиной 3,0 км (левый берег водохранилища). Участок берега длиной около 3 км непосредственно примыкает к усадьбным участкам, расположенным по улице Калинина, и к территории ХПП. Берег представлен плоской террасой с абсолютными отметками 118-125 м и полого опускающейся к затопленной высокой пойме. Исключением является небольшой низовой участок (у территории ХПП), где пойма выклинивается и имеет крутой эрозионный уступ.

Береговой склон в основном сложен супесями и суглинками. Непосредственно на поверхности залегает мощный – от 0,5 до 1,0 м – гумусный слой. Лишь на низовом участке (у ХПП) протяженностью 0,7 км супесчано-суглинистые отложения подстилаются крупнозернистыми, местами гравелистыми песками.

Отступление берега на низовом участке с начала эксплуатации до 1976 г. составило 45-50 м, за период 1980-1990 гг. – в основном 15 м, только в районе оврагов (выше ХПП) – до 30 м. В ближайшее десятилетие ожидается отступление береговой линии на 15-25 м, не угрожая непосредственно застройке ХПП. Однако переработка берега на 50-летнюю стадию составит 50-80 м и захватывает территорию ХПП, приблизившись к бетонным зернохранилищам.

В верхней части (от оврагов до залива по р.Кирза) сформировался абразионный уступ высотой от 2 до 4 м. До 1976 г. отступление береговой линии составило от 30 до 60 м. За период 1980-1990 гг. отступление берега составило 15-20 м [1-3].

В целом прогноз на сегодняшний день оправдывается, однако на перспективный 50-летний период отмечается отчетливо выраженная тенденция к затуханию процессов берегопереработки.

– Участок в районе села Спирино (нефтебаза) длиной 0,8 км (левый берег водохранилища). Участок длиной 0,8 км находится в пределах второй надпойменной террасы в 1 км ниже села Спирино (рисунок 4).

В низовой части участка находится территория нефтебазы, ограда которой расположена в 10-15 м от бровки. Обвалованные нефтебаки находятся в 80 м от берега. Напротив территории нефтебазы расположен причал, представляющий бетонное здание, к которому от берега отсыпана уложенная насыпь, основание её закреплено каменной наброской. Между территорией нефтебазы и бывшим каменным карьером, расположенным в верхней части участка, расположены усадьбные участки сотрудников нефтебазы.

В пределах участка берег имеет высоту от 5 до 7 м и сложен лессовидными суглинками. На участке, ниже и выше причала, формируется абразионный обвально-осыпной тип берега.



Рисунок 4 – Характер обрушения берегов в районе с.Спирино

Разрушающий склон имеет вид отвесного уступа высотой до 1,5-2 м в верхней части и короткой крутой осыпи высотой 3-5 м – в нижней части. Разрушение надводной части берега под воздействием ветровых волн происходит в виде обвалов и сползаний рыхлых отложений верхней части склона. Малая ширина надводного пляжа у причала нефтебазы, сложенного из мелкозернистого песка не препятствует размыву берега выше и ниже причала.

За период 1980-1990 гг. берег ниже и выше причала отступил на 10-20 м. Ожидаемое отступление береговой линии за 10 лет – 10-15 м, за 50 лет – до 35-40 м.

Отступление берега за период с 1978 по 2006 г. составило в среднем 20 м.

– Участок в районе села Чингисы длиной 4,5 км (правый берег водохранилища). На участке отмечается постоянный размыв берега интенсивностью до 10 м/год (рисунок 5). Участок сплошь покрыт лесом, в результате наблюдается постоянное поступление древесины на акваторию водохранилища.

– Участок в районе села Нижнекаменка длиной 2,3 км (правый берег водохранилища). Участок находится в приустьевой части р.Каменка и простирается на 1 км ниже устья р.Каменка и 1,3 км выше (рисунок 6). Застроенная территория расположена вдоль береговой линии на ступенчатом террасированном склоне, сложенном мелкозернистыми песками на большей части площади с поверхности, перекрытыми супесями и суглинками. Берега в заливе по р.Каменка сложены коренными породами (сланцы).

Основное русло р.Оби проходило в непосредственной близости, отделяясь от коренного борта долины на большей части участка поверхностью террасы с абсолютными отметками 110-113 м и шириной до 200 м.

До 1976 г. отступление береговой линии ниже залива составило 40-50 м, за период 1980-1990 гг. – до 15 м. В настоящее время здесь сформировался абразионный уступ высотой от 2 до 4 м. Формирующаяся прибрежная отмель является преимущественно абразионной шириной до 200 м. В ближайшие 10 лет, согласно прогнозу, отступление береговой линии составит до 10-15 м.

В результате обследования 2016 г. установлено, что в целом процессы берегопереработки на данном участке стабилизировались. Отступление береговой линии в заливе отсутствует.

На участке, выше залива, отступление береговой линии до 1976 г. составило от 15 до 30 м, за период 1980-1990 гг. – 10-15 м. В настоящее время высота абразионного уступа достигает в верхней части и у залива 5-8 м, в средней части – 2-3 м.

На участке, выше залива, в формировании береговой полосы, наряду с ветроволновой деятельностью и течениями участвуют процессы современного оврагообразования. Глубокие растущие овраги, разрезающие поверхность участка, способствуют стоку талых и дождевых вод, интенсивно разрушающих верхнюю часть склона.

Формирующая прибрежная отмель шириной от 50 до 120 м является абразионной с четко выраженной бровкой на глубине около 3 м.

На этом участке в ближайшие десять лет снижения интенсивности размыва не ожида-



Рисунок 5 – Участок в районе села Чингисы



Рисунок 6 – Выход скальных пород

ется и отступление береговой линии на ближайшие десять лет составит от 10 до 15 м, а на 50-летнюю стадию – 25-60 м.

Отступление берега за период с 1978 по 2016 г. составило максимально 40 м.

– Участок в районе поселка Ерестная, длиной 2,3 км (правый берег водохранилища). Участок, протяженностью около 2,3 км, расположен в приустьевой части р.Ерестная, протянувшись на 1,5 км ниже залива по р.Ерестная и на 0,75 км выше залива. Застроенная территория (в основном дачные участки) непосредственно примыкают к берегу. Часть строений дачных участков находятся у бровки абразионного уступа.

Берег подвержен воздействию ветров от севера-востока до юго-западного (через запад) направлений с разгонами от 4-6 км до 17 км. Основное русло р.Оби находилось в непосредственной близости.

По геолого-геоморфологическим условиям береговая полоса в пределах поселка является неоднородной, что обусловлено значительными колебаниями отметок коренных пород от 105 до 130 м и выше. Кровля коренных пород расположена выше НПУ в нижней части участка протяженностью около 1 км и в устье залива.

Береговая линия извилистая. Склон берега пологий. Береговой уступ обрывистый, сложенный сверху лессовидной супесью, подстилаемым глинистыми сланцами. Высота уступа уменьшается с севера на юг от 6 до 1 м. В средней части участка (на выходе улицы Береговой к берегу) и выше залива уступ представлен глинистыми сланцами сильно трещиноватыми, с поверхности выветренными, с простиранием под углом к общему направлению береговой линии, с падением от водохранилища.

Отмель на большей части участка сложена плиточником из глинистого сланца и только у залива отмель шириной 15-75 м от берега сложена песками средней крупности с содержанием дресвы и щебня.

До 1976 г. выше и ниже залива берег отступил до 100 м, а в нижней части участка протяженностью около 1 км размыв берега составил всего 15-20 м. За период 1980-1990 гг. отступление берега в районе залива на протяжении 700 м составило около 70 м, а в нижней части – 30 м.

В ближайшее десятилетие возможно отступление береговой линии до 50 м в верхней части участка и до 30 м – в нижней. Размер 50-летней переработки зависит от положения кровли коренных пород, которая предположительно поднимается выше НПУ на расстоянии 50-70 м от бровки уступа 1990 г.

– Участок в районе с.Быстровка, длиной 2,5 км (правый берег водохранилища). Участок протяженностью 2,5 км. Размыв берегового склона начался через 2 года после достижения НПУ и берег стал развиваться как абразионный с формированием прибрежной отмели. За период эксплуатации водохранилища к 1976 г. линия уреза отступила на 75-90 м. За период 1978-1990 гг. отступление берега в среднем составило 38 м, при этом наибольшее отступление в верхней части участка (у устья р.Атамановка) составило 80 м. В настоящее время на всем протяжении наблюдается абразионный уступ высотой от 3 до 6 м, сложенный сверху суглинками, подстилаемыми супесями и мелкозернистыми песками.

В соответствии с прогнозом отступление береговой линии в ближайшее десятилетие не превышает 60 м. В 50-летнюю стадию ожидается отступление берега на 120-200 м.

При обследовании летом 2016 г. отмечено скопление прибитого к берегу леса (рисунок 7).

– Участок Коса Бердского залива (правый берег водохранилища). В процессе обследования нижней части водохранилища в районе Бердского залива, а именно, на верхней косе, испытывающей интенсивное волновое воздействие, получившей в рассматриваемый период значи-



Рисунок 7 – Участок в районе с.Быстровка

тельные разрушения, выявлены действующие защитные сооружения в виде свайного сквозного берегоукрепительного сооружения.

На отдельных участках наблюдаются фрагменты крепления в виде каменной наброски (рисунок 8).

Этот район является одним из популярных мест отдыха Новосибирцев и Бердчан. К сожалению, констатируем факт большого засорения побережья «лесным материалом», который не только портит ландшафт, но и негативно сказывается на безопасности купания и отдыха.

– Участок левобережной части плотины и акватории у здания ГЭС (правый берег водохранилища). Часть древесины мигрирует по водохранилищу под действием ветра и течения. Количество плавающего леса и мусора прибиваемого течением к сооружениям ГЭС. значительно различается по годам и колеблется по оценке руководства Новосибирской ГЭС (письмо №004-06/658 от 28.11.2006) от 2-3 тыс. м³ до 20-30 тыс. м³. Засоренная лесом и мусором акватория на приплотинном участке может достигать 5-10 Га (рисунок 9 и 10).



Рисунок 8 – Фрагмент крепления берега каменной наброской



Рисунок 9 – Скопление леса в левобережной части плотины



Рисунок 10 – Скопление плавающей древесины у здания ГЭС

Количество мусора зависит от интенсивности паводка в верховьях Оби и на ее притоках. Кроме того, продолжается процесс переработки берегов водохранилища, особенно при повышенных отметках уровня воды. Состав приплывающего мусора не однороден. Приблизительно 30% – это бревна, стволы поваленных с корнями деревьев. Остальное – ветки, щепы, кора деревьев, бытовой мусор, пластиковая тара.

Объем затонувшей древесины за все время эксплуатации оценить не представляется возможным, так как периодически проводится промывка понура открытием донных водосборов. При водолазных спусках наблюдались завалы топляков на понуре в непосредственной близости от здания ГЭС до отметки 91,5 м.

При чистке сороудерживающих решеток (рисунок 9 и 10) из водоводов вынимается, как правило, только мелкий мусор. Его объем в разные годы различен и составляет 50-100 м³. Этот мусор вывозится на свалку (полигон твердых бытовых отходов).

Практически, весь объем скапливающегося перед сооружениями ГЭС мусора сбрасывается в нижний бьеф через водосливную плотину, как и предусмотрено проектом станции. Сброс может производиться как в период проведения холостых сборов через водосливную плотину (ВСП),

так и в период, когда холостых сбросов не производится. В первом случае дополнительного открытия ВСП может и не потребоваться – для сброса мусора производится лишь перераспределение нагрузки между агрегатами и расхода холостых сбросов между пролетами ВСП. Во втором случае требуется снижение нагрузки станции и открытия затворов ВСП. Расход воды через ВСП при этом может достигать 2000-2200 м³/с. «Недовыработка» электроэнергии за время сброса мусора составит до 1500 тыс. кВт·ч

Величину эксплуатационных затрат на эти цели определить не представляется возможным, так как эта работа эпизодическая и проводится штатным персоналом ГЭС.

Скопление плавающего мусора перед зданием ГЭС в случае не принятия современных мер по его сбросу в нижний бьеф (НБ) может привести к полной остановке станции из-за происходящего при этом засорения водозаборов системы технического водоснабжения.

Основные причины появления мусора в водохранилище указаны выше. Определенную роль в снижении объема мусора в водохранилище могло бы сыграть прекращение подъема уровня водохранилища выше НПУ. А поскольку, сооружения ГЭС являются единственным препятствием для всего плывущего с верховий Оби, неизбежно скопление всего мусора у сооружений ГЭС, если не принять каких-то специальных мероприятий для предотвращения этого. Данный вопрос находится в компетенции ФГУ «Верхнеобьрегионводхоз» [1-3].

В результате обработки и анализа натурных данных по состоянию береговой полосы, включая ее заселенность, и наличие в водохранилище лесных материалов в плавучем и притоленном состояниях, а также скоплению лесной массы на мелководьях можно сделать следующие выводы:

- Вдоль береговой полосы водохранилища наблюдается скопление лесных материалов, образующихся за счет разрушения залесенной береговой полосы. Средняя ширина разрушения береговой полосы составляет 3 м в год, то есть 65,1 Га. Объем леса, попадающего в водохранилище в результате разрушения берегов составляет около 11 тыс. м³ в год.

- Во время паводка на верхней Оби и реках Бия и Катунь происходит попадание деревьев и кустарников в транзитный поток. В период наполнения водохранилища происходит массовое движение карчей по водохранилищу сверху вниз. Объем ежегодно поступающего древесного материала может достигать 80 тыс. м³.

- От г.Камень-на-Оби до Новосибирской ГЭС происходит рассредоточение карчей по всей поверхности акватории. При этом 5-10 тыс. м³ сосредотачивается на берегах; 25-30 тыс. м³ оседает во время карчехода в зоне выклинивания подпора (г.Камень-на-Оби – с.Кирза); Во время движения на мелководьях оседает 10-15 тыс. м³ леса; 10-15 тыс. м³ тонет по пути движения, 15-20 тыс. м³ – у водосливной плотины и здания ГЭС; от 2 до 30 тыс. м³ сбрасывается в НБ.

- Необходимо создать условия для финансовой заинтересованности населения и отдельных организаций по сбору и утилизации древесины и древесного мусора, обеспечив нормальное финансирование по схеме: очистка, сбор и накопление, транспортировка и переработка с использованием ее продуктов в народном хозяйстве. Реализовать такую цепочку можно без значительных бюджетных ассигнований, а в основном за счет заинтересованных организаций в конечном продукте переработки древесины.

Очистка водохранилища должна определяться по следующим направлениям:

- заблаговременная лесосводка в прибрежной береговой полосе водохранилища;
- расчистка береговой полосы, а также мелководных участков, на которых скапливается древесный мусор;

- сбор плавающей древесины путем траления плавающим тралом и транспортировка его к местам временного хранения;

- разработка вариантов технологии погрузо-разгрузочных работ как плавающей, так и затонувшей древесины;

- транспортировка древесного материала к местам утилизации;

- определение мест и площадей скопления корчажника в зоне выклинивания подпора;

- обследование глубоководных зон водохранилища на предмет определения мест затонувшей древесины;

- определение объемов затонувшей древесины у здания ГЭС.

Из вышеперечисленных задач для выполнения последних двух пунктов потребуются дополнительные исследовательские работы, разработка самостоятельного проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Битюков, В.С. Состояние водных ресурсов Новосибирского водохранилища и проблемы использования их в маловодные годы / В.С. Битюков, А.И. Петрик // -Водное хозяйство России. -2000. -Т.2. -№4. -С. 332-346.

2 Васильев, О.Ф. Экологическое состояние Новосибирского водохранилища / О.Ф. Васильев, В.М. Савкин, С.Я. Двуреченская, С.Я. Тарасенко, П.А. Попов, А.Ш. Хабилов // -Сибирский экологический журнал. - 2000. -Т.VII. -С. 149-163.

3 Топчий, Н.И. Проблема химического загрязнения водохранилищ при затоплении древесной растительности / Н.И. Топчий // -Актуальные проблемы современности. -2006. -№1, -С. 239-241.

1 Bityukov B.C., Petrik A.I. Status of water resources of the Novosibirsk reservoir and the problems of its utilization in shallow water years [Sostoyanie vodnykh resursov Novosibirskogo vodokhranilishcha i problemy ispol'zovaniya ikh v malovodnye gody]. *Vodnoe khozyaistvo Rossii*. 2000. Vol.2. No. 4. pp. 332-346.

2 Vasil'ev O.F., V.M. Savkin, Dvurechenskaya S.Ya., Tarasenko S.Ya., Popov P.A., Khabidov A.Sh. Ecological status of Novosibirsk reservoir [Ekologicheskoe sostoyanie Novosibirskogo vodokhranilishcha]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*. 2000. Vol. VII. pp. 149-163.

3 Topchii N.I. The problem of chemical contamination of reservoirs during flooding on woody plants [Problema khimicheskogo zagryazneniya vodokhranilishch pri zatoplenii drevesnoi rastitel'nosti]. *Aktual'nye problemy sovremennosti*. 2006. No. 1. pp. 239-241.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *Новосибирское водохранилище, береговая полоса, разрушения берегов, переработка берегов, ветровое волнение*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Седых Виталий Алексеевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Енаки Екатерина Сергеевна, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *Сорокин Евгений Михайлович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

АНАЛИЗ ВЫПУСКНИКОВ ЭКОНОМИКИ ЗА 25 ЛЕТ РАБОТЫ ФАКУЛЬТЕТА «УПРАВЛЕНИЕ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ»

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

В.П. Носов, А.А. Белоногов, В.М. Болдырев

ANALYSIS OF GRADUATES OF "WATER TRANSPORT MANAGEMENT" FACULTY FOR 25 YEARS

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Vladimir P. Nosov (Ph.D. of Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

Aleksandr A. Belonogov (Ph.D. of Economic Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

Vyacheslav M. Boldyrev (Assoc. Prof. of SSUWT)

ABSTRACT: For 25 years "Water Transport Management" faculty exists, from July 22, 1991 to July 22, 2016, the Siberian State University of Water Transport awarded degrees to 2195 full-time economists for transport needs, including 567 or 25,83% diplomas with distinction.

Keywords: transport university, faculty, full-time economic education

За 25 лет работы факультета «Управление на водном транспорте», с 22 июля 1991 года по 22 июля 2016 года, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта» выпущено для нужд транспорта 2195 экономистов очного обучения, в том числе 567 красных дипломов или 25,83%.

Факультет «Управление на водном транспорте» (УВТ) образован в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «СГУВТ») 22 июля 1991 г. путём разделения факультета «Судовождение и организация перевозок», на котором обучались почти 500 студентов трёх специальностей [1]:

- «Судовождение» 160 чел.;
- «Организация перевозок на водном транспорте» 140 чел.;
- «Экономика и управление на транспорте» 180 чел.

Создание нового факультета «Управление на водном транспорте» обусловлено рядом назревших в 1990-е г. причин:

- бурным развитием речных перевозок Восточной России, освоением Севера, политикой государства: «Могущество России будет прирастать Сибирью»;
- открытием новой специальности – экономической в 1988 году;
- большой потребностью Восточных бассейнов рек в местных специалистах экономистах-транспортниках, проживающих в Восточной части страны.

Начало подготовки экономистов было обусловлена тем, что водный ВУЗ Новосибирска до 1988 г. не готовил экономистов для своих транспортных бассейнов, а экономисты Западных районов страны, распределяемые на Восток, здесь практически не задерживались, хотя потребность в них была немалой [1]:

- в условиях растущих объемов перевозок грузов, увеличивался государственный заказ на управленцев (организация перевозок) и судоводителей;
- факультет «Судовождение и организация перевозок» превратился к концу восьмидесятых годов XX в. в крупный факультет Университета;
- потребностью выделения ряда специальностей факультета «Судовождение и организация перевозок» в самостоятельный управленческий факультет.

В целом вновь созданный факультет «Управление на водном транспорте» за 1991-2016 гг. выпустил 2195 специалистов экономики, в том числе дипломы с отличием получили 567 выпускника или 25,83% (таблица).

В то же время получили экономические дипломы 7800 человек заочного обучения в головном вузе, а также во всех учебных пунктах, филиалах и институтах университета.

Введение в 1988 году в ФГБОУ ВО «СГУВТ» экономической специальности оказалось своевременной, так как появилась необходимость подготовки рыночников-транспортников для работы не только на водном транспорте, но и на других видах транспорта [1].

В связи с переходом России на рыночную экономику с 1991 года, в системе высшего образования России и нашего университета прошло ряд серьезных рыночных преобразований:

TRANSPORT EDUCATION

- до 1994 г. обучение студентов – экономистов в ВУЗе проходило по учебным планам всех предыдущих лет;
- в 1994 г. появились образовательные стандарты первого поколения;
- с 2000 г. появились стандарты ГОС ВПО второго поколения с «дидактическими единицами»;
- в 2011 г. – стандарты третьего поколения – «бакалавр-магистр». При этом из специальности 080502.65 «Экономика и управление на предприятии (по отраслям)» отпочковались две бакалаврских основных образовательных программы – 38.03.01 «Экономика» и 38.03.02 «Менеджмент»;
- с 2016 г. появились стандарты нового поколения «три плюс» с профессиональными компетенциями, с критериями обучения «знать», «уметь», «владеть».

Таблица – Экономисты-выпускники 1993-2016 гг. факультета «Управление на водном транспорте» ФГБОУ ВО «СГУВТ»

№	Годы выпусков	Полученные дипломы выпускников-экономистов		
		Синие	Красные	Всего
1	1993	36	6 (14,29%)	42
2	1994	42	9 (17,65%)	51
3	1995	51	13 (20,31%)	64
4	1996	47	11	58
5	1997	52	13	65
6	1998	77	25 (24,51%)	102
7	1999	97	33 (25,38%)	130
8	2000	61	31 (33,7%)	92
9	2001	47	35 (42,68%)	82
10	2002	62	37 (37,37%)	99
11	2003	80	39 (32,77%)	119
12	2004	81	27	108
13	2005	73	29	102
14	2006	94	38	132
15	2007	85	39 (31,45%)	124
16	2008	96	29	125
17	2009	100	25	125
18	2010	91	17	108
19	2011	87	28	115
20	2012	66	19	85
21	2013	45	13	58
22	2014	41	12	53
23	2015	74	22	96
24	2016	43	17	60
Всего		1628 (74,17%)	567 (25,83%)	2195 (100,0%)

Примечание: Курсивом выделены цифры рекордных выпусков студентов с синими, красными дипломами и итогового количества экономистов за 25-летний период работы факультета «Управление на водном транспорте» с 1991 по 2016 гг. Первый выпуск экономистов очников ВУЗа состоялся в 1993 г., так как экономическая специальность была открыта в 1988 г.

Таким образом, за 25 лет в ФГБОУ ВО «СГУВТ» сменилось 5 учебных планов подготовки экономистов:

- первый – до 1994 г. – с квалификацией «инженер-экономист»;
- второй – с 1994 до 2000 гг. – с квалификацией «инженер-экономист»;
- третий – с 2000 до 2011 гг. – с квалификацией «экономист-менеджер»;
- четвертый – с 2011 г. – с квалификацией «бакалавр»;
- пятый – с 2015 г. – с квалификациями «бакалавр» и «магистр».

С 2015 г. на факультете «Управление на водном транспорте» ведется обучение и в магистратуре по направлению подготовки 38.04.02 «Менеджмент», куда поступают выпускники-бакалавры: 38.03.01 «Экономика» и 38.03.02 «Менеджмент», и двух других управленческих направлений подготовки факультета.

Факультет «Управление на водном транспорте» в составе ФГБОУ ВО «СГУВТ» успешно

прошел пять государственных лицензионных и аккредитационных проверок экономической специальности Рособназдорными органами Министерства образования и науки Российской Федерации: в 1994 г., 1997 г., 2002 г., 2007 г. и в 2011-2012 гг.

Настоящее свидетельство о лицензировании экономических направлений подготовки, полученное вузом в 2011 г., является для ФГБОУ ВО «СГУВТ» бессрочным. Свидетельство об аккредитации, полученное вузом в 2012 г. дает право вести образовательную деятельность, в том числе по экономике до 29 декабря 2018 г.

Начиная с 2012 г., Российское государство стало проверять ВУЗы на эффективность основной образовательной деятельности. Экономическая специальность «Экономика и управление на предприятии (по отраслям)» (по ней факультет УВТ выпускал специалистов до 2015/2016 учебного года) и направления подготовки «Экономика» и «Менеджмент» (по ним набор студентов был начат с 2011 г.) факультета в составе ФГБОУ ВО «СГУВТ» – отмечены как эффективные.

Ниже отмечены результаты количественного и качественного развития экономической специальности на факультете «Управление на водном транспорте» за 25 летний период деятельности факультета, с 1991 г. по 2016 г.

В 1991 г. на факультете УВТ обучались всего 320 студентов. Но через 16 лет, в 2007 году, здесь было уже 1050 студентов. В год 25-летия факультета УВТ, в 2016 г. обучались 804 студента.

В первом экономическом выпуске, в 1993 г., было выпущено 42 экономиста (из них 6 дипломов «с отличием» – 14,29%), а уже в седьмом выпуске 1999 г. было 130 выпускников-экономистов (из них 33 красных дипломов – 25,38%).

Рекордное количество выпускников-экономистов и дипломов с отличием было в 2006 г. – 132 (38 «с отличием» или 28,79%).

Количество выпускников факультета «Управление на водном транспорте» по экономической специальности за период с 1993 по 2016 гг. приведены в таблице.

В отношении улучшения качества обучения экономистов говорят такие факты. Если в первом выпуске 1993 г. было всего 6 дипломов с отличием из 42 выпускников или 14,29%, то в 2006 г. факультет выдал 38 дипломов с отличием или 28,8% из 132 подготовленных специалистов экономики.

За 13 лет (1993-2006 гг.) общее количество выпускников увеличено факультетом «Управление на водном транспорте» в 3,14 раза, а количество дипломов с отличием почти в 7 раз (таблица).

Со 180 студентов-экономистов 1-3 курсов, обучавшихся в 1991 г., факультет УВТ увеличил в 2001 г. контингент одновременно обучающихся своих студентов-экономистов очников до 610 человек или в 3,8 раза (520 студентов очного обучения и 90 человек второго высшего очно-заочного (вечернего) образования) [1].

В течение первых 10 лет (1993-2002 гг.) факультет выпустил 785 экономистов, вторых 10 лет (2003-2012 гг.) – 1143 человек (на 45,6% больше). В сумме за 1993-2012 гг. выпущено 1928 экономиста.

Экономические кафедры факультета «УВТ». С 1 сентября 1991 г. образована новая кафедра факультета УВТ «Экономики труда и хозяйственной деятельности» выделением её из кафедры «Экономика водного транспорта». Её возглавил доктор экономических наук, профессор Овсянников Александр Сергеевич.

С 1994 г. кафедра «Экономическая теория и история» стала выпускающей и приступила к руководству дипломным проектированием экономистов. В сентябре 2002 г. кафедра «Экономическая теория и история» разделена на две: экономическую выпускающую «Экономика и маркетинг» и общеуниверситетскую «История и теория общества».

В разные годы эти кафедры возглавляли доктора наук:

– доктор экономических наук, профессор Черкасский Ян Иванович;

– доктор исторических наук Олех Григорий Леонидович;

– доктор технических наук Рагулин Игорь Анатольевич (ректор университета с 1999 по 2012 гг.);

– кандидат экономических наук, профессор Рогачевский Анатолий Михайлович.

В 2015 г. две выпускающие кафедры факультета «Экономики труда и хозяйственной деятельности» и «Экономика и маркетинг» были объединены в одну кафедру «Экономика

предпринимательской деятельности» в целях совершенствования образовательного процесса.

Факультет «Управления на водном транспорте» гордится своими достижениями в области совершенствования учебного процесса и его развития, а именно:

- В мае 1994 г. факультетом «Управление на водном транспорте» в Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации был открыт докторский диссертационный совет 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством (транспорт)», в котором прошли защиты диссертаций на соискание ученых степеней: докторов наук (2 преподавателя университета); кандидатов экономических наук (13 преподавателей университета).

- Ученое звание профессора (в качестве исключения) по экономическим кафедрам получили 2 педагога вуза, ученое звание доцента – 5 педагогов.

- В 1993-2000 гг. факультет УВТ проводил подготовку студентов экономической специальности в учебно-консультационном пункте г.Нерюнгри, для нужд Республики Саха (Якутия).

- В 1996 г. на базе экономической специальности была открыта юридическая специализация «Правовое регулирование хозяйственной деятельности», а с сентября 2004 г. – ещё и финансовая рыночная специализация «Управление финансами на предприятии».

- С 1998 по 2013 гг. факультет подготовил 378 студентов по второму высшему образованию, по очно-заочной (вечерней) системе обучения, со специализацией «Правовое регулирование хозяйственной деятельности».

- С 1991 г. по 2016 г. факультет УВТ на всех своих курсах и специальностях вел обучение студентов по микросессиям – студенты внутри семестра сдавали 2-3 зачета и 1 экзамен, разгружая на это количество предметов зимней и летней сессий. Именно микросессии позволяли студентам факультета УВТ более качественно и более регулярно обучаться в течение всего учебного года, с начала и до конца. Это, в том числе, привело на факультете к значительному качеству обучавшихся студентов «с отличием». Так общее количество экономистов-выпускников, получивших красные дипломы за 1991-2016 гг. составило 567 или 25,67%, из них 44 выпускника обучались со средним баллом «5,0» или 8,47% от общего количества дипломов «с отличием»;

- На факультете в 1996 г. и в 2000 г. созданы два компьютерных кабинета с современными компьютерами, имеющими выход в Интернет, с программным обеспечением, электронными учебниками и методическими материалами.

- В 2007–2014 гг. факультет своими силами оборудовал 12 лекционных и лабораторных аудиторий 1-го, 4-го, 5-го, 7-го и 8-го этажей учебного корпуса №2 мультимедийными стационарными комплексами.

На рисунке приведена диаграмма выпускников экономической специальности факультета «Управление на водном транспорте» за 25 лет обучения, с 1991 по 2016 гг.

- Помимо очного обучения, за 1994-2016 гг. было подготовлено 7800 экономистов на заочном факультете – как в базовом вузе, так и во всех его учебно-консультационных пунктах, филиалах и институтах Сибири и Дальнего Востока ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта».

Таким образом, за 1993-2016 гг. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта» для нужд водного и других видов транспорта в регионах Сибири и Дальнего Востока в: Новосибирске, Тобольске, Омске, Томске, Красноярске, Усть-Куте, Якутске, Нерюнгри и Хабаровске выпускал специалистов экономики очного и заочного обучения в среднем по 408 человек высшей квалификации в год.

Краткие итоги:

- Факультет «Управление на водном транспорте», созданный в 1991 г., стремительно развивался, являлся крупным и самым **престижным** в университете.

- Студенты-выпускники факультета «Управление на водном транспорте» получали: прочные и фундаментальные экономико-правовые знания; конкретную крупную транспортную материально-техническую базу; хорошие знания банковского, биржевого и страхового дела; глубокие знания по управлению финансами на предприятии, в том числе в антикризисных условиях работы; глубокие знания английского языка, включая классический, деловой и документальный язык; глубокие современные знания от качественной профессуры, докторов и кандидатов экономических наук с острепенённостью в 70,3%.

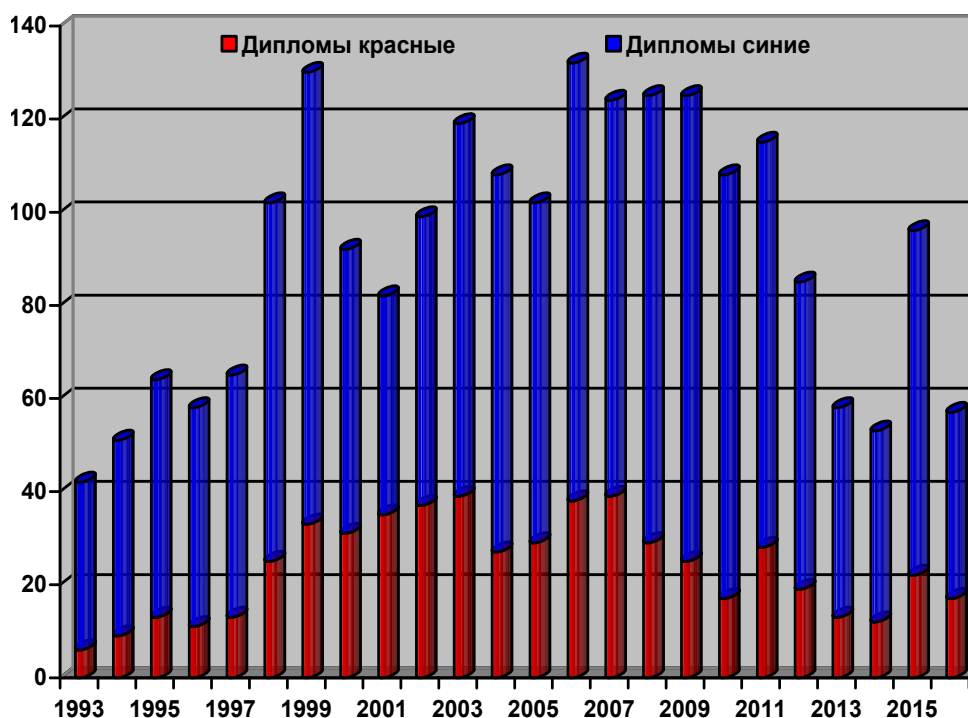


Рисунок – Выпускники экономисты факультета «Управление на водном транспорте» в 1993–2016 гг. – 2195 чел. (567 с отличием или 25,83%), 91 чел./год

– На факультете издаются монографии, учебные пособия, методические разработки, в том числе электронные; достаточный парк ПЭВМ.

– Защиты докторских и кандидатских степеней, получение ученых званий профессора и доцента повысили остепененность факультета «Управление на водном транспорте» за 15 лет целенаправленной работы на 59,4%, а именно, с 44,1% в 2000 г. до 70,3% в 2015 г.: 44,1% в 2000 г.; 51,3% в 2005 г.; 60,1% в 2010 г.; 70,3% в 2015 г.

– Открытие в 1988 г. экономической специальности позволило ФГБОУ ВО «СГУВТ» без серьезных потрясений (с учётом большой доли платного обучения специалистов экономики, в пределах 40,0-60,0%) пройти сложный период новых условий развития и подготовить около 10000 экономистов очного и заочного обучения.

– Это позволяет выпускникам качественно использовать знания, полученные на факультете «Управление на водном транспорте» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта» и успешно работать на водном (речной, морской) и других видах транспорта, (железнодорожный, автомобильный, авиационный) и в других сферах экономики (в банковской сфере, сферах управления различных уровней и отраслей хозяйствования), благодаря хорошим знаниям материально-технической базы крупнейших предприятий транспорта.

– Выпускники факультета успешно работают на предприятиях водного транспорта Сибири, Дальнего Востока, Севера и Российской Федерации в целом, включая Государственные службы речного флота Министерства транспорта Российской Федерации, банки, налоговые органы, казначейства, в различных государственных структурах и на предприятиях различных форм собственности, в собственных фирмах и предприятиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Носов, В.П. К 25-летию подготовки в ФБОУ ВПО «НГАВТ» специалистов экономики/ В.П. Носов // Современные проблемы экономики и финансов: сб. тр. Новосиб. гос. акад. водн. трансп. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2013, -С. 3-14.

REFERENCES

1 Nosov V.P. To the 25th anniversary of economic education in NSAWT [K 25-letiyu podgotovki v FBOU VPO «NGAVT» spetsialistov ekonomiki]. Current issues in economics and finance [Sovremennye problemy ekonomiki i finansov]. Novosibirsk. Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. 2013. pp. 3-14.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

транспортный университет, факультет, подготовка экономистов-очников

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Носов Владимир Павлович, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Белоногов Александр Анатольевич, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Болдырев Вячеслав Михайлович, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

НАХОЖДЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КООРДИНАТ ЭКСТРЕМУМА ДЛЯ НЕКОТОРОЙ ФУНКЦИИ, СОСТАВЛЕННОЙ СУММОЙ РАДИКАЛОВ, НАГРУЖЁННЫХ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

О.Г. Куделин, В.И. Фомин

FINDING THE EXTREMUM COORDINATES FOR SOME FUNCTION DEFINED BY A SUM OF RADICALS WITH COEFFICIENTS
Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia
Oleg G. Kudelin (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)
Vasilii I. Fomin (Senior Lecturer of SSUWT)

ABSTRACT: At the interception of two sciences algebra and analytic geometry, solutions to some non-standard problems are proposed in the article.

Keywords: extremum coordinates, extremum of a function, radicals, analytic geometry

На стыке двух наук алгебры и аналитической геометрии предложены решения некоторых нестандартных задач.

В [1, 2] предлагалась идея нахождения значения экстремума и его координат для функции, составленной суммой радикалов. В частности, в статье [2] был продемонстрирован теоретический подход к определению координат экстремума для функции вида

$$f(x, y) = \sqrt{(x - a_1)^2 + (y - b_1)^2} + \sqrt{(x - a_2)^2 + (y - b_2)^2} + \sqrt{(x - a_3)^2 + (y - b_3)^2}, \quad (1)$$

где $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ – константы, которые определяли координаты вершин треугольника $\triangle ABC$ в точках с соответствующими координатами $A(a_1, b_1)$, $B(a_2, b_2)$, $C(a_3, b_3)$;

x, y – переменные.

При этом точкой экстремума для функции (1) будет точка T . Эта точка называется точкой Торричелли. Теоретический подход к её определению был представлен в [2].

В данной статье предлагается обобщить задачу, и каждый из радикалов в функции (1) нагрузить заданными коэффициентами N_1, N_2, N_3

$$f(x, y) = N_1 \sqrt{(x - a_1)^2 + (y - b_1)^2} + N_2 \sqrt{(x - a_2)^2 + (y - b_2)^2} + N_3 \sqrt{(x - a_3)^2 + (y - b_3)^2}, \quad (2)$$

Целью данного исследования является определить изменённые координаты новой точки Торричелли для функции (2) и найти значение экстремума для неё.

Заметим, что эта задача непростая, так как она не получила должного развития даже у самого Торричелли.

Поэтому, чтобы подобраться к её решению в общем виде, как она обозначена в уравнении (2), решим сначала эту задачу для равностороннего треугольника.

Итак, пусть задана функция (2), в которой точки $A(a_1, b_1)$, $B(a_2, b_2)$, $C(a_3, b_3)$, являющиеся вершинами равностороннего треугольника $\triangle ABC$, произвольным образом расположены на плоскости (рисунок 1).

Путём несложных преобразований, связанных с поворотом осей координат и их параллельного переноса, перестроим $\triangle ABC$ в новой системе координат так, как это показано на рисунке 3.

При этом, пропуская очевидные выкладки, рассмотрим следующий пример для сформированной ниже функции

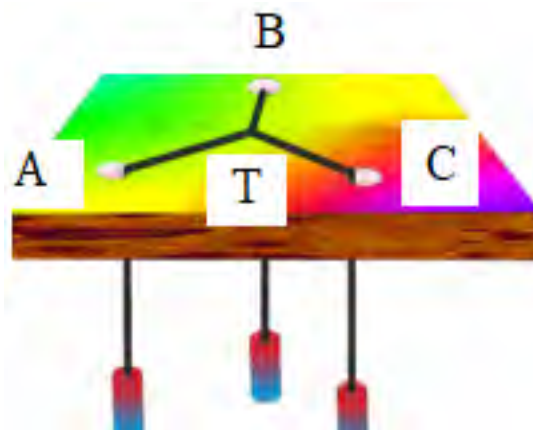


Рисунок 1 – Вершины равностороннего $\triangle ABC$ на плоскости, нерастяжимые нити, перевязанные узлом в точке T , свешиваются через отверстия в вершинах $\triangle ABC$, концы нитей нагружены соответственно массами N_2, N_1, N_3

$$f(x, y) = N_1 \sqrt{(x + 4\sqrt{3})^2 + 0^2} + N_2 \sqrt{x^2 + (y + 4)^2} + N_3 \sqrt{x^2 + (y - 4)^2}, \quad (3)$$

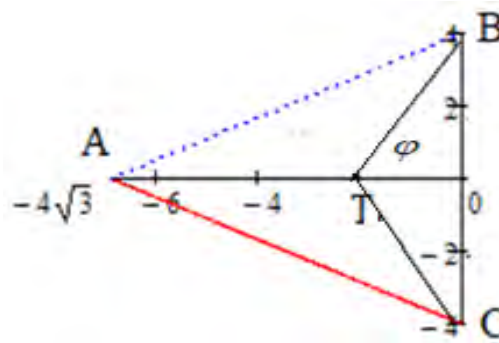


Рисунок 3 – Значения вершин равностороннего $\triangle ABC$, с координатами $A(-4\sqrt{3}, 0)$, $B(0, 4)$, $C(0, -4)$, «узел» верёвочек, завязанных в точке Торричелли T , при этом будем условно полагать, что угол $\angle BTO = \angle CTO = \varphi$

Рассмотрим функцию (3), и запишем систему уравнений равновесия моментов сил для грузиков с соответствующими «массами» N_1, N_2, N_3 , подвешенными на нерастяжимых верёвочках (рисунок 2), по трём направлениям AO, BT, CT :

– AT

$$N_1 |(-4\sqrt{3} - x)| = N_2 \sqrt{16 + x^2} \cos \varphi + N_3 \sqrt{16 + x^2} \cos \varphi;$$

– BT

$$N_2 \sqrt{16 + x^2} = N_3 \sqrt{16 + x^2} \cos(\pi - 2\varphi) + N_1 |(-4\sqrt{3} - x)| \cos \varphi;$$

– CT

$$N_2 \sqrt{16 + x^2} = N_1 |(-4\sqrt{3} - x)| \cos \varphi + N_3 \sqrt{16 + x^2} \cos(\pi - 2\varphi),$$

а также к выписанным уравнениям добавить ещё одно уравнение - уравнение равновесия сил в «узле» $T(x, 0)$ связанных верёвочек

$$N_1 - N_2 \cos \varphi - N_3 \cos \varphi = 0,$$

где $\cos \varphi = \frac{|x|}{\sqrt{x^2 + 16}}; \sin \varphi = \frac{4}{\sqrt{x^2 + 16}}; \cos(\pi - 2\varphi) = -\cos 2\varphi = -(\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi) = \frac{16 - x^2}{x^2 + 16}.$

И тогда окончательно имеем

$$\begin{cases} N_1 |(-4\sqrt{3} - x)| - N_2 |x| - N_3 |x| = 0; \\ N_1 |(-4\sqrt{3} - x)| \frac{|x|}{\sqrt{x^2 + 16}} - N_2 \sqrt{16 + x^2} + N_3 \frac{16 - x^2}{\sqrt{16 + x^2}} = 0; \\ N_1 |(-4\sqrt{3} - x)| \frac{|x|}{\sqrt{x^2 + 16}} + N_2 \frac{16 - x^2}{\sqrt{16 + x^2}} - N_3 \sqrt{16 + x^2} = 0; \\ N_1 - N_2 \frac{|x|}{\sqrt{x^2 + 16}} - N_3 \frac{|x|}{\sqrt{x^2 + 16}} = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Результат решения системы уравнений (4)

$$N_1 = N_2 = N_3 = \text{Const}, \text{ а } x = -\frac{4\sqrt{3}}{3},$$

из которого следует, что координаты точки Торричелли будут следующими $T(-4\sqrt{3}/3, 0)$, при этом $\min f(x, y) = f(-4\sqrt{3}/3, 0) = 13,8564$, при условии, что $N_1 = N_2 = N_3 = 1$.

При других равных значениях $N_1 = N_2 = N_3 = \text{Const}$, результат, конечно, изменится, хотя координаты точки минимума останутся прежними, что не вызывает сомнений в силу того, что точка T является точкой пересечения медиан для равностороннего треугольника. Гео-

метрический расчёт подтверждает, что это действительно так.

Очевидно, что предложенный метод может быть также использован для определения координат точки экстремума (1) и для любого остроугольного треугольника.

Авторы продемонстрируют это в следующей публикации.

С точки зрения Торричелли, координаты его точки для любого остроугольного треугольника, должны располагаться строго внутри $\triangle ABC$, что, кстати, и подтверждает найденное решение системы уравнений (4).

Однако, постараемся выяснить, так это или не так, если всё таки нарушить условия задачи Торричелли, и путём изменения значений коэффициентов N_1, N_2, N_3 . Решим задачу (4) в предположении, что «узел» перевязанных верёвочек находится, например, в вершине $A(-4\sqrt{3}, 0)_{\triangle ABC}$.

В этом случае в системе (4), очевидно, останется правомочным только одно последнее уравнение, представляющее собой уравнение равенства сил натяжения перевязанных верёвочек в вершине $A(-4\sqrt{3}, 0)$, при этом другие уравнения просто «теряют» физический смысл.

Имеем: $N_1 - N_2 \cos \varphi - N_3 \cos \varphi = 0$, $\varphi = \pi/6$, откуда следует, что

$$N_1 = \sqrt{3} \text{ Const}, N_2 = N_3 = \text{Const}.$$

Для случая $N_1 = \sqrt{3}$, $N_2 = N_3 = 1$, в точке $A(-4\sqrt{3}, 0)$ получаем

$$\min f(x, y) = f(-4\sqrt{3}, 0) = 16,000,$$

что точно согласуется с численным расчётом (рисунок 4)

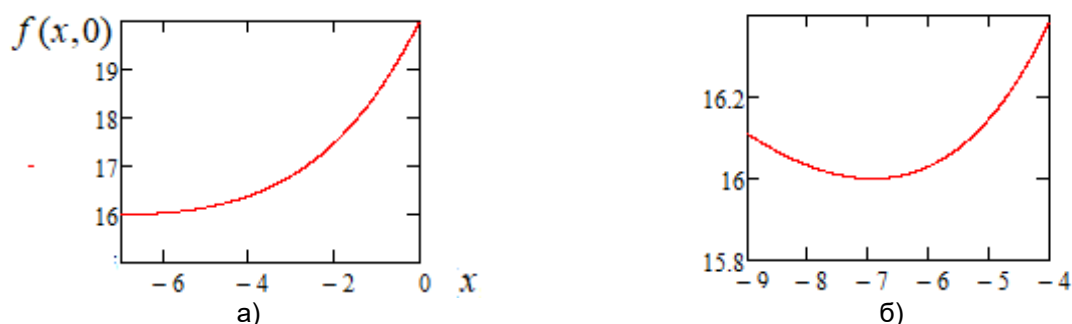


Рисунок 4 – График (а) численного расчёта изменения функции $f(x, 0)$, $x \in [0, -4\sqrt{3} \approx (-6,928203)] = 16$, и уточняющий (б) его численного расчёта изменения функции $f(x, 0)$

Неравные между собой действительные значения коэффициентов N_1, N_2, N_3 , входящие в уравнение (2), расширяют область нахождения «узла» перевязанных верёвочек (точка Торричелли) внутри остроугольного треугольника, что соответственно делает задачу Торричелли более общей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Куделин, О.Г. Теоретический подход к определению координат точки экстремума для некоторого класса функций с использованием алгебры аналитической геометрии / О.Г. Куделин, В.И. Фомин // - Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2017. -№1-2. -С. 103-106.

2 Куделин, О.Г. Определение экстремума для некоторого класса функций с использованием алгебры и аналитической геометрии / О.Г. Куделин, В.И. Фомин // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2017. -№1-2. -С. 125-128.

REFERENCES

1 Kudelin O.G., Fomin V.I. Theoretical approach to finding the extremum coordinates for some class of functions using algebra and analytic geometry [Teoreticheskii podkhod k opredeleniyu koordinat tochki ekstremuma dlya nekotorigo klassa funktsii s ispol'zovaniem algebry analiticheskoi geometrii]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2017. No. 1-2. pp. 103-106.

2 Kudelin O.G., Fomin V.I. Finding the extremum for some class of functions using algebra and analytic geometry [Opredelenie ekstremuma dlya nekotorigo klassa funktsii s ispol'zovaniem algebry i analiticheskoi geometrii]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2017. No. 1-2. pp. 125-128.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

координаты экстремума, экстремум функции, радикалы, аналитическая геометрия

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Куделин Олег Георгиевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Фомин Василий Иванович, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ТОЧНОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕКОТОРОГО КЛАССА ОПРЕДЕЛЁННЫХ ИНТЕГРАЛОВ С ПОМОЩЬЮ РАЗЛОЖЕНИЯ ПОДЫНТЕГРАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ В СХОДЯЩИЕСЯ СТЕПЕННЫЕ РЯДЫ ТЕЙЛОРА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

О.Г. Куделин, В.И. Фомин

ACCURATE CALCULATION OF SOME CLASS OF DEFINITE INTEGRALS BY USING TAYLOR EXPANSION OF INTEGRANDS
Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia
Oleg G. Kudelin (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)
Vasiliy I. Fomin (Senior Lecturer of SSUWT)

ABSTRACT: This paper demonstrates that definite integral is calculated accurately by means of Taylor expansion.

Keywords: Taylor series, converging, integrand

Показано, что с помощью разложения в ряд Тейлора, определённый интеграл вычисляется точно.

В монографии [1] авторы данной статьи предлагали разложение подынтегральных функций в сходящиеся степенные ряды, которые после интегрирования позволяли получать суммы рядов, достаточно быстро приводившие к результатам вычисления некоторых классов определённых интегралов с заданной точностью.

В данной статье авторы развивают предложенную идею для получения точного результата вычисления некоторого класса определённых интегралов.

Как известно, с помощью разложения подынтегральной функции в сходящийся ряд Тейлора можно вычислить его лишь приближенно с некоторой наперёд заданной точностью. При этом существуют такой класс интегралов, вычисление которых можно доводить до точного результата.

Однако, это возможно лишь в том случае, если подынтегральная функция не является слишком громоздкой и без труда разлагается в ряд Тейлора. При этом промежуток интегрирования должен целиком принадлежать области сходимости соответствующего ряда.

На этом промежутке степенной ряд можно интегрировать, применяя формулу Ньютона-Лейбница [2]. В результате получается разность двух сходящихся числовых рядов, которые при этом могут оказаться условно сходящимися.

Как известно, метод разложения подынтегральной функции в ряд является эффективным, тогда и только тогда, когда значение этого ряда приводится точному значению.

Считая известными суммы рядов [3]

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = \frac{\pi^2}{6}; \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{n^2} = \frac{\pi^2}{12}; \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} = \frac{\pi^2}{8}, \quad (1)$$

а также разложения в сходящиеся степенные ряды функций:

– логарифмический ряд

$$\ln(1+x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1} x^n}{n}; x \in (-1, 1]; \quad (2)$$

– ряд «высокого логарифма»

$$\ln \frac{1+x}{1-x} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^{2n-1}}{2n-1}; x \in (-1, 1); \quad (3)$$

можно точно вычислить некоторые классы определённых интегралов.

Итак, согласно (1), имеем

$$\int_0^1 \frac{\ln(1+x)}{x} dx = \int_0^1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1} x^n}{n} dx = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{n} \int_0^1 x^{n-1} dx = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{n^2} = \frac{\pi^2}{12}. \quad (4)$$

Аналогично, получаем

$$\int_0^1 \frac{\ln(1-x)}{x} dx = -\int_0^1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n} dx = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \int_0^1 x^{n-1} dx = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = -\frac{\pi^2}{6}. \quad (5)$$

Исходя из результатов (4), (5), а также формулы суммы n первых членов геометрической прогрессии

$$1 + q + q^2 + q^3 + \dots + q^{n-1} = 1 - q^n / (1 - q), \quad (6)$$

вычислим следующие определённые интегралы

$$\begin{aligned} \int_0^1 \frac{\ln(1+x+x^2+\dots+x^{n-1})}{x} dx &= \int_0^1 \frac{\ln\left(\frac{1-x^n}{1-x}\right)}{x} dx = \int_0^1 \frac{\ln(1-x^n) - \ln(1-x)}{x} dx = \int_0^1 \frac{\ln(1-x^n)}{x} dx - \int_0^1 \frac{\ln(1-x)}{x} dx = \\ &= \left\{ \int_0^1 \frac{\ln(1-x^n)}{x} dx \right\} = \left\{ \int_0^1 \frac{\ln(1-t)}{t} dt \right\} = \frac{1}{n} \int_0^1 \frac{\ln(1-t)}{t} dt = \\ &= \frac{1}{n} \int_0^1 \frac{\ln(1-t)}{t} dt - \int_0^1 \frac{\ln(1-x)}{x} dx = \left(\frac{1}{n} - 1 \right) \int_0^1 \frac{\ln(1-x)}{x} dx = \frac{(n-1)}{6n} \pi^2; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \int_0^1 \frac{\ln(1-x+x^2-x^3+\dots+x^{2n})}{x} dx &= \int_0^1 \frac{\ln\left(\frac{1+x^{2n+1}}{1+x}\right)}{x} dx = \\ &= \int_0^1 \frac{\ln(1+x^{2n+1}) - \ln(1+x)}{x} dx = \int_0^1 \frac{\ln(1+x^{2n+1})}{x} dx - \int_0^1 \frac{\ln(1+x)}{x} dx = \\ &= \left\{ \int_0^1 \frac{\ln(1+x^{2n+1})}{x} dx \right\} = \left\{ \int_0^1 \frac{\ln(1+t)}{t} dt \right\} = \frac{1}{2n+1} \int_0^1 \frac{\ln(1+t)}{t} dt = \\ &= \frac{1}{2n+1} \int_0^1 \frac{\ln(1+t)}{t} dt - \int_0^1 \frac{\ln(1+x)}{x} dx = \left(\frac{1}{2n+1} - 1 \right) \int_0^1 \frac{\ln(1+x)}{x} dx = -\frac{2n}{2n+1} \int_0^1 \frac{\ln(1+x)}{x} dx = -\frac{n\pi^2}{6(2n+1)}; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \int_0^1 \frac{\ln(1-x+x^2-x^3+\dots-x^{2n-1})}{x} dx &= \int_0^1 \frac{\ln\left(\frac{1-x^{2n}}{1+x}\right)}{x} dx = \\ &= \int_0^1 \frac{\ln(1-x^{2n}) - \ln(1+x)}{x} dx = \int_0^1 \frac{\ln(1-x^{2n})}{x} dx - \int_0^1 \frac{\ln(1+x)}{x} dx = \\ &= \left\{ \int_0^1 \frac{\ln(1-x^{2n})}{x} dx \right\} = \left\{ \int_0^1 \frac{\ln(1-t)}{t} dt \right\} = \frac{1}{2n} \int_0^1 \frac{\ln(1-t)}{t} dt = \\ &= \frac{1}{2n} \int_0^1 \frac{\ln(1-t)}{t} dt - \int_0^1 \frac{\ln(1+x)}{x} dx = -\frac{1}{2n} \frac{\pi^2}{6} - \frac{\pi^2}{12} = -\frac{\pi^2}{12n} - \frac{\pi^2}{12} = -\frac{(n+1)\pi^2}{12n}; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \int_0^1 \frac{\operatorname{arctanh} x}{x} dx &= \int_0^1 \frac{\frac{1}{2} \ln\left(\frac{1+x}{1-x}\right)}{x} dx = \frac{1}{2} \int_0^1 \frac{\ln(1+x) - \ln(1-x)}{x} dx = \\ &= \frac{1}{2} \left(\int_0^1 \frac{\ln(1+x)}{x} dx - \int_0^1 \frac{\ln(1-x)}{x} dx \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi^2}{12} + \frac{\pi^2}{6} \right) = \frac{1}{2} \frac{\pi^2}{4} = \frac{\pi^2}{8}. \end{aligned} \quad (10)$$

Отметим, что интеграл (10) можно вычислить, если воспользоваться последним разложением в (1)

$$\int_0^1 \frac{\operatorname{arctanh} x}{x} dx = \int_0^1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} x^{2n-1} dx = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \int_0^1 x^{2n-2} dx = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)(2n-1)} \Big|_0^1 = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} = \frac{\pi^2}{8}$$

Поскольку отрезок интегрирования $[-1;0]$ симметричен $[0;1]$ относительно точки $x_0 = 0$, то рассмотренные методы вычислений, представленные выше, можно с таким же успехом применить в случае интегрирования и на отрезке $[-1;0]$, а также (посредством суммирования интегралов) на расширенном отрезке $[-1;1] = [-1,0] \cup [0,1]$.

Предложенный способ вычисления определённых интегралов с помощью разложения подынтегральной функции в сходящийся степенной ряд с последующим интегрированием, сводит процедуру вычисления к суммам рядов, значения которых известны или определяются без особых трудностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Куделин, О.Г. Вычисление класса определённых интегралов и суммирование некоторых нестандартных функциональных рядов / О.Г. Куделин, Е.К. Смирнова, В.И. Фомин. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2009. -88 с.
- 2 Фиктенгольц, Г.М. Основы математического анализа / Г.М. Фиктенгольц. -СПб: Лань, 2001. -Т.1. -440 с.
- 3 Фиктенгольц, Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления / Г.М. Фиктенгольц. -М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 1962. -Т.2. -807 с.

REFERENCES

- 1 Kudelin O.G., Smirnova E.K., Fomin V.I. Calculation of certain class of definite integrals and summing of some nonstandard functional series [Vychislenie klassa opredelennykh integralov i summirovaniye nekotorykh nestandartnykh funktsional'nykh ryadov]. Novosibirsk. Novosibirsk St. Acad. of Water Transp. 2009. 88 p.
- 2 Fikhtengol'ts G.M. Mathematical analysis fundamentals [Osnovy matematicheskogo analiza]. St. Petersburg. 2001. Vol. 1. 440 p.
- 3 Fikhtengol'ts G.M. Differential and integral calculus [Kurs differentsial'nogo i integral'nogo ischisleniya]. Moscow. Publ. Fiziko-matematicheskoi literatury. 1962. Vol. 2. 807 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ряд Тейлора, сходимост, подынтегральная функция
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Куделин Олег Георгиевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Фомин Василий Иванович, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

КОМПЕТЕНТНОСТНЫЙ ПОДХОД ПРИ ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Н.П. Протопопова

COMPETENCY-BASED APPROACH IN TEACHING PHYSICS

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia
 Nina P. Protopopova (Ph.D. of Chemical Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

ABSTRACT: The essence of the competency-based approach and its implementation in teaching the physics course at a technical university is considered. It is determined that the competency-based approach became the basis for the modernization strategy of the national education, and it should be considered as one of the most optimal answers of the education system to the requirements that modern society specifies.

Keywords: innovations, competencies, competency-based educational model

Рассмотрена сущность компетентностного подхода и его реализация при преподавании курса физики в техническом ВУЗе. Определено, что компетентностный подход положен в основу стратегии модернизации отечественного образования, и его следует рассматривать одним из наиболее оптимальных ответов системы образования на те требования, которые предъявляет к нему современное общество.

В современном естествознании физика является одной из лидирующих наук. Она оказывает огромное влияние на различные отрасли науки, техники, производства. Физика, непрерывно расширяясь и многократно умножая возможности человека, обеспечивает его уверенное продвижение по пути технического прогресса. В эпоху развития инновационных технологий темпы познания мира непрерывно возрастают. Растут и потоки научно-технических знаний. В этих условиях невозможно обеспечить образование студентов технических ВУЗов без овладения курсом общей физики. Курс физики в рамках Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования в соответствии с принципами компетентностного подхода должен, прежде всего, сформировать у студентов базовые знания и соответствующие им умения, навыки и способы обучения. Фундаментальные академические знания необходимы.

Но в нашем веке от человека требуется ещё и умение ориентироваться в информационных ресурсах, социальная и профессиональная мобильность, способность к самообразованию и смене профессий, конкурентоспособность, качества, определяющие человека к об-

ществу; качества, характеризующие приспособленность человека к существованию в социуме. Главной задачей образования, по выражению американского учёного М. Ноулза, стало «производство компетентных людей – таких людей, которые были бы способны применять свои знания в изменяющихся условиях, и чья основная компетенция заключалась бы в умении включаться в постоянное самообучение на протяжении всей своей жизни» [1].

Сегодня человек должен работать в новых условиях усложняющегося общества, уметь проявлять инициативу, быть готовым к инновациям, к новым подходам, уметь расширять область применения ранее полученных знаний, умений, навыков, обеспечивая самостоятельную деятельность. Для решения сложных задач современности обществу не достаточно потенциала узких профессионалов с технической подготовкой. Обществу нужны с люди широкой гуманитарной культурой, общеобразовательной эрудицией, развитой логикой мышления. Именно всё это и предполагает компетентностная модель образования.

Компетентностный подход использует два вида понятий: «компетенция» и «компетентность» [2]. Компетенция – это способность к выполнению какой-либо деятельности на основе приобретённых в ходе обучения знаний, навыков, умений, опыта работы. Компетентность – это свойство личности, определяющее её способность профессионально выполнять работу в процессе осуществления практической деятельности на основе сформированных компетенций.

Работодатели ждут получить от ВУЗа грамотного, владеющего фундаментальными знаниями специалиста, обладающего адекватной самооценкой. Они наиболее ценят компетенции, связанные со способностью системно мыслить, умением перерабатывать большие объёмы информации и вычленять главное, умением работать в команде, готовностью к постоянному овладению новыми знаниями [3].

С первых дней пребывания в ВУЗе студентов необходимо ориентировать на то, что на протяжении всего курса обучения следует максимально серьёзно относиться к получению прочных теоретических знаний, расширять свой кругозор, проявлять инициативу и самостоятельность, овладевать навыками самопрезентации, участвовать во всех внеаудиторных мероприятиях, полезных для дальнейшей работы.

Высшее образование должно быть универсальным: должно быть и источником знаний, и инструментом утверждения гуманистических ценностей, носителем этики.

Перечислим некоторые компетенции из профессиональных образовательных программ для бакалавров:

- способность анализировать основные этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции;
- способность к коммуникации в устной и письменной форме для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия;
- способность работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические и культурные различия;
- способность к самоорганизации, самообразованию и владению навыками самостоятельной работы;
- способность осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных;
- способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности;
- организовывать свой труд, самостоятельно оценивать результаты своей деятельности.

Как видно даже из этого неполного набора компетенций, компетентностный подход – это стремление привести общее образование в соответствие с требованиями рынка труда. Сейчас необходима успешная адаптация в обществе, то есть, обладание такими качествами, как инициатива, сотрудничество, склонность к работе в группе, коммуникативность, умение учиться, отбирать и использовать информацию.

Болонский процесс и российское образование направлены на воспитание общечеловеческих ценностей.

Принципы компетентностного подхода:

- смысл образования в том, чтобы развить у обучаемых способность к самостоятельному решению проблем в разных видах и сферах деятельности;

- решение мировоззренческих, познавательных, политических, нравственных и других проблем;
- создание необходимых условий для формирования опыта, нужного для самостоятельного решения коммуникативных, познавательных, нравственных и других проблем;
- умение оценивать образовательные результаты;
- задача преподавателя любого учебного предмета – научить, решать проблемы учебной деятельности, выбирать нужные источники информации, ставить цели познавательной деятельности, организовывать деятельность, научить оценивать полученные результаты, работать в коллективе.

Воспитательными возможностями обладают все учебные предметы. Так содержание курса физики даёт возможность формировать научное мировоззрение, приводит к пониманию законов природы и на этой основе - взглядов на жизнь и трудовую деятельность. Развитию способствуют как используемые методы и формы обучения, так и активная сознательная деятельность обучающихся.

В практике преподавания дисциплины физика на судомеханическом факультете Сибирского государственного университета водного транспорта (СГУВТ) компетентностная компонента подготовки современных специалистов базируется на следующих формах работы:

- для повышения общей культуры включение в лекционный материал гуманитарных ценностей и оснований;
- включение личностного опыта студентов для разработки экспериментальных заданий лабораторных исследований;
- написание рефератов, проведение научных студенческих конференций. Цель – развитие самостоятельности, умения работать с первоисточником, составлять планы, тезисы и конспекты докладов;
- отработка на лабораторных занятиях умений и навыков, относящихся к изучению определённой темы;
- оперативное применение знаний в конкретной ситуации (выполнение тестов, решение задач);
- использование элементов проблемного обучения;
- использование исторического материала, который ценен тем, что он позволяет познакомить студентов с сущностью научно-технического творчества, с методами исследований, этапами научного познания.

И это необходимо для формирования научного мировоззрения. Ознакомление с жизнью деятельностью и взглядами выдающихся учёных позволяет решить ряд этических проблем, рассматривать вопросы гуманизма, патриотизма и национальной гордости, социальной ответственности учёных.

Специалист должен сегодня работать, трудиться в новых условиях социализации, организации труда и трудовых отношений. Сегодня личность призвана жить в условиях нарастающей динамики усложняющегося общества, оперативно принимать оптимальные решения и проявлять инициативу, быть творческой личностью. В человеке должно быть сформировано доверие к себе, способность к принятию самостоятельных решений и к ответственности за них. Лишь осмысление знаний о мире может служить развитию ума, пониманию мира и себя, адаптации к миру, достижению успеха. Именно гуманитарная составляющая образовательного процесса даёт человеку простор для формирования самостоятельной точки зрения.

Опыт показывает, что работа над докладом, рефератом, написание реферата, сообщение доклада способствуют выработке ряда новых качеств. Студенты приобретают навыки самостоятельного исследования, навыки самоорганизации, опыт участия в дискуссиях, конференциях. Участие в конференциях учит студентов умению аргументировать свои суждения и доводы, развивать критическое мышление, ясность самовыражения и т.д.

Разрабатываемые темы часто предлагают сами студенты, или берут у преподавателя. Вот некоторые из них:

- Учёные о возникновении вселенной.
- Очарование науки и её непредсказуемость.
- Сказка о суперсыщике Н. Боре.
- Будущее технологий и профессий.

- XXI век и развитие компьютерной индустрии.
- Удивительные события и чудеса XXI века и др.

Участники приобретают простые коммуникативные умения: услышать, резюмировать, задать вопрос. Приобретают они также умение устанавливать доброжелательные контакты, увеличивать круг друзей. Индивид познаёт на практике успех и неудачи, учится преодолевать трудности.

Образование на компетентностной основе предполагает целостный опыт решения жизненных проблем, выполнение многих жизненных функций, социальных ролей, компетенций. Предметное знание при этом не исчезает из структуры образованности, а выполняет в ней подчиненную, ориентировочную роль. Компетентностный подход выдвигает на первое место не информированность учащегося, а умение решать проблемы в большом ряду обстоятельств: в познании и объяснении явлений действительности, при освоении современной техники и технологий, в практической жизни при освоении социальных ролей гражданина и избирателя; при выборе профессии и оценке своей готовности к обучению, и т.д.

Система образования – это взгляд в будущее. И требования к ней исходят из будущих задач. При переходе к новому типу социально-экономического развития надо выращивать интеллектуальное поколение, которое сможет обеспечить дальнейшее развитие страны. Снова необходимо смотреть в будущее и реформировать образование исходя из вызовов, которые ставят перед обществом развивающиеся требования современности.

Вспомним советское образование. Оно было ориентировано на человека-творца. Целью образования являлась подготовка высокообразованных, всесторонне развитых активных строителей коммунистического общества («Основы законодательства Союза ССР и союзных республик о народном образовании». 10 июля 1973 г.)

И в наше время даже в рамках рыночных отношений образование должно строиться на идеологии долга, идеологии служения будущему своей страны, своему народу, своим детям.

Человечество вступает в период своего наивысшего, крайне противоречивого, всё ускоряющегося и уже непредсказуемого развития. В этом случае нужна система непрерывного инновационного образования, базирующегося на фундаментальных знаниях [5].

Необходимо формирование новой модели системы образования, основанной на переосмыслении взаимосвязи фундаментальной и прикладной составляющих.

Без наличия фундаментального образования даже конкурентоспособный человек не сможет идти вперёд, решать нестандартные задачи, открывать новые, не существовавшие ранее, профессиональные ниши [6].

Будущее – судьба молодёжи. Формирование общей культуры и её повышение – задача российского образования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Knowles, M.S. The Modern Practice Of Adult Education / M.S. Knowles // From Andragogy to Pedagogy. - Chicago, 1980. -р. 43.
- 2 Шишков, С.Е. Понятие компетенций в контексте качества образования / С.Е. Шишков // -Стандарты и мониторинг образования. -1999. -№2. -С. 15-20.
- 3 Аврамова, Е.М. Работодатели и выпускники ВУЗов на рынке труда; взаимные ожидания / Е.М. Аврамова, Ю.Б. Вернаховская // -Социологические исследования. -2006. -№4. -С. 37-46.
- 4 Хуторской, А.В. Технология проектирования ключевых и предметных компетенций. -Режим доступа: <http://www.eidos.ru/journal/2005/1212.htm>. - 26.02.2018.
- 5 Косолапова, С.А. К вопросу о фундаментализации инженерного образования / С.А. Косолапова, Т.Г. Калиновская, А.И. Косолапова // -Успехи современного естествознания. -2013. -№6. -С. 134-146.
- 6 Садовничий, В.А. Наука в России: сценарий развития / В.А. Садовничий // -Вестник актуальных прогнозов. Россия: третье тысячелетие.. -2003. -№8. -Т.1. -С. 79.

REFERENCES

- 1 Knowles M.S. The Modern Practice Of Adult Education. *From Andragogy to Pedagogy*. Chicago, 1980. 43 p.
- 2 Shishkov S.E. The concept of competences in the context of the quality of education [Ponyatie kompetentsii v kontekste kachestva obrazovaniya]. Educational standards and monitoring [Standarty i monitoring obrazovaniya]. 1999. No. 2. pp. 15-20.
- 3 Avramova E.M., Vernakhovskaya Yu.B. Employers and graduates of universities in the labor market; mutual expectations [Rabotodateli i vypuskniki VUZov na rynke truda; vzaimnye ozhidaniya]. Sociological Studies [Sotsiologicheskie issledovaniya]. 2006. No. 4. pp. 37-46.
- 4 Khutorskoi A.V. Technology for developing key and discipline competencies [Tekhnologiya proektirovaniya klyuchevykh i predmetnykh kompetentsii]. -URL: <http://www.eidos.ru/journal/2005/1212.htm>. -26 Feb. 2018.
- 5 Kosolapova S.A., Kalinovskaya T.G., Kosolapova A.I. Revisiting the fundamental engineering education [K voprosu o fundamentalizatsii inzhenernogo obrazovaniya]. Advances in current natural sciences [Uspekhi sovremennogo esestvoznaniya]. 2013. No. 6. pp. 134-146.
- 6 Sadovnichii V.A. Science in Russia: scenario of development [Nauka v Rossii: stsennarii razvitiya]. Russia. 3rd millennium. Actual predictions Reporter [Vestnik aktual'nykh prognozov. Rossiya: tret'e tysyachelietie]. 2003. No. 8. Vol. 1. pp. 79.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

инновации, компетенции, компетентностная модель образования
Протопопова Нина Павловна, канд. хим. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КООРДИНАТ ТОЧКИ ЭКСТРЕМУМА ДЛЯ НЕКОТОРОГО КЛАССА ФУНКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГЕБРЫ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

О.Г. Куделин, В.И. Фомин

THEORETICAL APPROACH TO FINDING THE EXTREMUM COORDINATES FOR SOME CLASS OF FUNCTIONS USING ALGEBRA AND ANALYTIC GEOMETRY

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia
Oleg G. Kudelin (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of, SSUWT)

Vasilii I. Fomin (Senior Lecturer of, SSUWT)

ABSTRACT: At the interception of two sciences algebra and analytic geometry, solutions to some non-standard problems are proposed in the article.

Keywords: extremum of a function, algebra, analytic geometry

На стыке двух наук алгебры и аналитической геометрии предложены решения некоторых нестандартных задач.

Итак, пусть требуется отыскать в общем виде экстремум (предполагается существование минимума) предложенной ниже функции

$$f(x, y) = \sqrt{(x - x_{01})^2 + (y - y_{01})^2} + \sqrt{(x - x_{02})^2 + (y - y_{02})^2} + \sqrt{(x - x_{03})^2 + (y - y_{03})^2}, \quad (1)$$

где $A(x_{01}, y_{01})$, $B(x_{02}, y_{02})$, $C(x_{03}, y_{03})$ – точки вершин плоского $\triangle ABC$ с соответствующими координатами (рисунок 1).

Точка T является точкой экстремума функции (1), координаты которой необходимо отыскать.

Предлагаемая алгебраическая задача (1) по поиску экстремума, заданной функции $f(x, y)$, равносильна геометрической задаче Торричелли, определяющей минимальное значение расстояний от некоторой точки T до вершин треугольника $\triangle ABC$.

Теорема Торричелли. Если большой угол треугольника меньше 120° , то точка Торричелли лежит внутри треугольника, из которой все его стороны видны под углом 120° . Если большой угол треугольника не менее 120° , то точка Торричелли лежит в вершине тупого угла.

Далее, рассмотрим частный случай, когда большой угол треугольника меньше 120° (рисунок 1).

Как известно, Торричелли смог доказать, что если построить на каждой из сторон $\triangle ABC$ по равностороннему треугольнику – $\triangle AOB$, $\triangle BNV$, $\triangle AMC$, то описанные окружности, проведенные вокруг каждого из этих равносторонних треугольников пересекутся в одной точке T , расположенной внутри треугольника. Более того, он доказал, что в этой точке, названной точкой Торричелли, сумма значений величин p, q, r (рисунок 1) минимальна. Еще более выдающимся доказанным фактом является справедливость следующих равенств

$$AN = BM = CO = p + q + r, \quad (2)$$

причем отрезки прямых AN , BM , CO также пересекаются в точке T .

В соответствии с выражением (2), проблем с поиском минимального значения функции $f(x, y)$ в (1) на основе решенной Торричелли геометрической задачи не возникает. Минимум, согласно его доказательств, известен

$$p + q + r = \min(f(x, y)) = f(x_0, y_0) = SUM, T(x_0, y_0) \in \triangle ABC. \quad (3)$$

Таким образом, часть задачи решена, согласно выражению (3). Однако нахождение координат самой точки $T(x_0, y_0)$ остаётся под вопросом. Авторы в данной статье предлагают свой аналитический подход к решению этой непростой задачи.

Для начала сделаем следующие очевидные действия. Путём несложных преобразований, связанных с поворотом осей координат и их параллельного переноса перестроим $\triangle ABC$ в новой системе так, как это показано на рисунке 2.

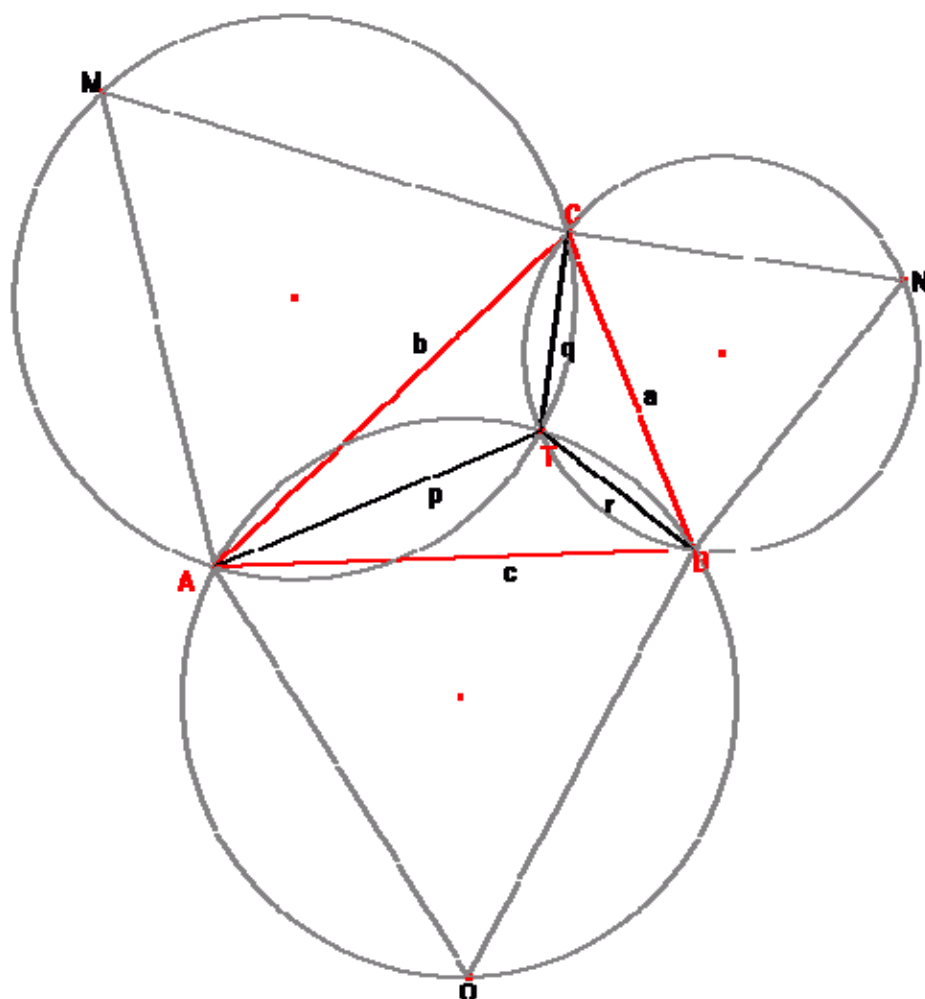


Рисунок 1 – Координаты заданных точек $A(x_{01}, y_{01}), B(x_{02}, y_{02}), C(x_{03}, y_{03})$ $\triangle ABC$, а также дополнительные точки M, N, O и указаны расстояния a, b, c ; p, q, r и сама точка T – точка Торричелли

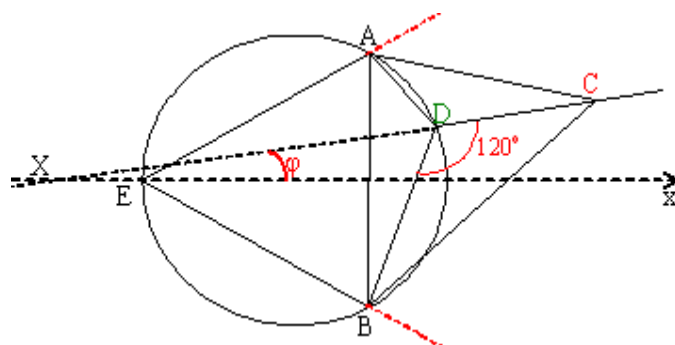


Рисунок 2 – Показаны точки треугольника $\triangle ABC$ с координатами в новой системе координат: $A(x_{001}, y_{001}), \{(x_{01}, y_{01}) \rightarrow (x_{001}, y_{001})\}$; $B(x_{001}, -y_{001}), \{(x_{02}, y_{02}) \rightarrow (x_{01}, -y_{01})\}$ – симметричны относительно оси Ox , $C(x_{003}, y_{003}), \{(x_{02}, y_{02}) \rightarrow (x_{003}, y_{003})\}$, а также точка $D, \{T \rightarrow D\}$ – точка Торричелли

Возьмём окружность радиуса R , его значение легко определяется по значениям координат точек

$$A(x_{001}, y_{001}); B(x_{001}, -y_{001}),$$

при условии, что $\triangle ABE$ – равносторонний, а точка $E \in Ox$. На меньшей дуге AB , расположив произвольную точку D , проведём хорды AD, BD . Точка D является точкой Торричелли для треугольника $\triangle ABC$ (точка C – вне круга). Найдём траекторию движения точки C , пока точка D перемещается по дуге окружности от A к B .

Если точка D - произвольная точка дуги $D \in AB$, то множество точек C , удовлетворяющих условию задачи, представляет собой луч DC (без включения самой точки D). Угол, который образует прямая DC с осью OX (проходит через точку E) и принадлежит промежутку $\varphi \in (-30^\circ, +30^\circ)$.

Поэтому при движении точки D по дуге AB , точка C заполнит область, ограниченную этой дугой (сама дуга не включается) и лучами EA и EB с началами в точках A и B (сами лучи при этом не включаются).

Далее, удобней всего перейти к рисунку 3, согласно которому найдём сумму отрезков AD , BD .

Из $\triangle OBD$ следует, согласно [2]

$$BD^2 = OB^2 + OD^2 - 2OB \cdot OD \cos\left(\frac{\pi}{3} - \varphi\right) = 2R^2 \left(1 - \cos\left(\frac{\pi}{3} - \varphi\right)\right) = 2R^2 \left(1 - \frac{\cos(\varphi)}{2} - \frac{\sqrt{3} \sin(\varphi)}{2}\right). \quad (4)$$

Из $\triangle ODA$ следует, согласно [2]

$$AD^2 = AO^2 + OD^2 - 2AO \cdot OD \cos\left(\frac{\pi}{3} + \varphi\right) = 2R^2 \left(1 - \cos\left(\frac{\pi}{3} + \varphi\right)\right) = 2R^2 \left(1 - \frac{\cos(\varphi)}{2} + \frac{\sqrt{3} \sin(\varphi)}{2}\right). \quad (5)$$

Найдём и удвоенное произведение AD на BD

$$2BD \cdot AD = \sqrt{2R^2 \left(1 - \frac{\cos(\varphi)}{2} - \frac{\sqrt{3} \sin(\varphi)}{2}\right)} \sqrt{2R^2 \left(1 - \frac{\cos(\varphi)}{2} + \frac{\sqrt{3} \sin(\varphi)}{2}\right)} = 2R^2 (2 \cos \varphi - 1). \quad (6)$$

Итак, используя результаты формул (4)-(6), имеем

$$\begin{aligned} (AD + BD)^2 &= AD^2 + BD^2 + 2AD \cdot BD = 2R^2 \left(1 - \frac{\cos(\varphi)}{2} - \frac{\sqrt{3} \sin(\varphi)}{2}\right) + 2R^2 \left(1 - \frac{\cos(\varphi)}{2} + \frac{\sqrt{3} \sin(\varphi)}{2}\right) + \\ &+ 2R^2 (2 \cos \varphi - 1) = 2R^2 (\cos \varphi + 1) \Rightarrow AD + BD = 2R \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right). \end{aligned}$$

Пусть радиус окружности R с осью OX составляет угол $\varphi = \angle DOX$, $\varphi \in (-60^\circ, +60^\circ)$, тогда, согласно элементарной геометрии [2], из треугольника $\triangle ODC$, в котором $DC = SUM - 2R \cos \frac{\varphi}{2}$; $\angle ODC = 180^\circ - (\varphi/2)$, имеем

$$\begin{aligned} OC &= \sqrt{R^2 + \left(SUM - 2R \cos \frac{\varphi}{2}\right)^2 - 2R \left(SUM - 2R \cos \frac{\varphi}{2}\right) \cos\left(180^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} \rightarrow \\ &\rightarrow 8R^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2} - 4R \cdot SUM \cos \frac{\varphi}{2} + (R^2 + SUM^2 - OC^2) = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Из квадратного уравнения (7) относительно неизвестной $\cos(\varphi/2)$, учитывая известные значения величин OC , R , SUM находим необходимый параметр $R \cos(\varphi/2)$, а, следовательно, вычисляем и координаты точки D

$$D = \left(R \cos \varphi = R \left(2 \cos^2 \frac{\varphi}{2} - 1 \right), R \sin \varphi \right),$$

координаты которой являются координатами точки минимума (1). Затем переходим в старую систему координат, и определяем реальные значения координат точки $T \{D \rightarrow T\}$. Таким образом, решается вторая часть задачи.

Предложенная схема решения рассмотренного класса задач (1) существенно упрощает процедуру «лобового» определения значения экстремума и координат точки, в которой он находится.

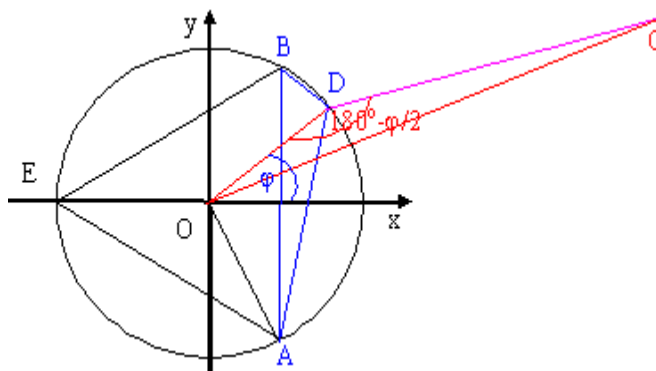


Рисунок 3 – Показан $\triangle ODC$, усматриваются $\triangle ABC$, $\triangle OBD$ отрезки AD , BD

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Куделин, О.Г. Определение экстремума для некоторого класса функций с использованием алгебры и аналитической геометрии / О.Г. Куделин, В.И. Фомин // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост., -2017. -№1-2. -С. 125-128.

2 Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. -М.: Наука, 1978. -832 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

экстремум функции, алгебра, аналитическая геометрия

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Куделин Олег Георгиевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Фомин Василий Иванович, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

REFERENCES

1 Kudelin O.G., Fomin V.I. Finding the extreme values of the certain class of functions by using algebra and analytic geometry [Opredelenie ekstremuma dlya nekotorigo klassa funktsii s ispol'zovaniem algebrы i analiticheskoi geometrii]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2017. No. 1-2. pp. 125-128.

2 Korn G., Korn T. Mathematics Reference Book for Scientists and Engineers [Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov]. Moscow: Nauka, 1978. -832 p.

ПРИМЕНЕНИЕ FLASH-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕРАКТИВНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения»

А.В. Пономарев

USING FLASH TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT TRANSITION PROCESSES MODELING INTERACTIVE APPLICATION

Omsk State Transport University (OSTU) 35, Prospekt Marksa, Omsk, 644046, Russia
Anton V. Ponomarev (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of OSTU)

ABSTRACT: The article considers basics of interactive educational application design. Authors use dynamic modeling of transition processes in electrical engineering as an example. Recommended project structure is described, some features of project designing are stated and main using methods are considered.

Keywords: modeling, interactive technology, dynamics, process, programming, methods, events

Рассмотрены основные результаты проектирования интерактивного учебного приложения. Материал рассмотрен на примере динамического моделирования переходных процессов в электротехнике. Описана рекомендуемая структура проекта, сформулированы особенности организации проекта, рассмотрены основные применяемые методы.

В условиях постоянного роста информации в современном мире важным навыком становится умение работать с информацией. Для студентов это выражается в поиске источников, позволяющих наиболее полно и быстро предоставить необходимую информацию. При этом для формирования общей картины происходящих процессов, как правило, предпочтение отдается современным мультимедийным технологиям, которые позволяют наглядно отобразить суть изучаемых процессов, имеющиеся причинно-следственные связи, расставить акценты. При более детальном изучении материала на первый план выходят печатные материалы, позволяющие представить большие объемы информации в удобном для вдумчивого изучения виде.

В свою очередь ответственностью преподавателей является обеспечение дисциплины соответствующими учебно-методическими разработками. Обычно это книги и учебно-методические пособия для самостоятельной проработки изучаемого материала, а также комплект лекционных презентаций и наглядно-иллюстративных материалов.

Внедрение интерактивных форм обучения повышает усвояемость материала за счет личностного включения студента в учебный процесс, но имеет свои особенности для различных дисциплин. Например, для электротехнических дисциплин отображение изучаемых процессов в реальном времени связано с необходимостью подключения целого ряда дорогостоящих приборов (источники энергии, генераторы сигналов различной формы, осциллографы и измерительные приборы, различные виды нагрузки). Причем при демонстрации результатов проведения опыта на большую аудиторию возникает проблема представления информации, так как экран осциллографа или шкалы измерительных приборов, как правило, имеют сравнительно небольшие размеры.

Таким образом, возникает задача либо разработки аппаратуры, удовлетворяющей соответствующим требованиям, либо применения интерактивных моделей изучаемых процессов. Неоспоримым достоинством второго подхода является возможность самостоятельного

использования разработанных программных моделей студентами, в то время как использование аппаратного комплекса ограничено аудиторными занятиями.

Интерактивный отклик модели на действия студентов обеспечивает личностный, индивидуальный подход к изучаемым явлениям.

Для разработки интерактивных приложений существует множество вариантов решения, различающихся по области применения, трудоемкости разработки и графическим возможностям. Однако можно сделать ряд общих рекомендаций по разработке демонстрационного приложения.

Так как приложение должно быть интерактивным, то разрабатываемый продукт должен в режиме реального времени обрабатывать действия пользователя. Соответственно, это должна быть не просто графическая среда, но обязательно с элементами программирования. Пожалуй, одним из наиболее удобных средств разработки является применение Flash-технологии, которая позволяет создавать графические и анимационные ролики с программируемым на языке Action Script поведением и удобным пользовательским интерфейсом.

Например, при изучении классического метода расчета переходных процессов в линейных электрических цепях необходимо четкое представление о влиянии принужденной составляющей, начальных условий и формы свободной составляющей на ход переходного процесса [1]. Наиболее эффективным способом демонстрации этих понятий является применение интерактивной модели переходного процесса, показывающей изменение физической величины в динамике.

Интерактивность модели должна заключаться в возможности регулировки значений принужденной составляющей (установившегося значения тока или напряжения в цепи после коммутации) и начального значения физической величины, а также воспроизведения различных видов свободной составляющей, которые определяются параметрами элементов схемы и не зависят от формы и значений входного напряжения [1]. Динамичность модели должна заключаться в демонстрации самого процесса перехода от начального значения к конечному, а также оперативности реагирования на изменения принужденной составляющей и начального значения.

Проект удобно реализовывать на трех слоях. Длина всего проекта устанавливается равной трем кадрам.

Самый нижний слой длиной три кадра представляет собой элементы управления и пользовательский интерфейс. В данном примере на первом слое находится координатная плоскость и кнопки переключения вида переходного процесса.

Кнопки реализованы символами типа Button. Обработчики событий для них описываются ниже.

На втором слое находятся объекты, положение и внешний вид которых будет управляться программным кодом. В рассматриваемом проекте это один пустой символ типа Movie Clip, которому присвоено имя graph, и два символа типа Button с именами rtMarker и dstMarker. При расположении символов на слое важно жестко выставить их координаты x и y в свойствах символа (либо сделать это в первом кадре программным путем). Ко второму слою прописан код обработки событий нажатий на кнопки мыши. Длина слоя три кадра, благодаря чему элементы слоя и обработчики событий видны и доступны в любой момент выполнения программы.

Символ graph при работе программы не будет менять свое расположение, на нем будет прорисовываться график изменения физической величины. Символы rtMarker и dstMarker будут двигаться пользователем вверх и вниз, и управлять начальным и конечным значениями физической величины. Объект rtMarker (real-time marker), показывает значение физической величины в текущий момент времени и выполнен в виде большой точки. Символ dstMarker (destination marker) реализован треугольником в правой части экрана, от которого влево до конца экрана уходит пунктирная прямая. Эта линия показывает принужденную составляющую – то значение, к которому должна стремиться физическая величина по окончании переходного процесса.

Программный код второго слоя задает обработчики событий [2], которые указываются в виде: «Имя кнопки» addEventListener («Отслеживаемое событие», «Функция обработчик»). Принцип отображения переходного процесса выбран следующий.

При изменении положения маркера-назначения dstMarker вместе с ним движется и мар-

кер реального времени rtMarker, оставляющий за собой след в виде сплошной линии. Таким образом, выставляется требуемое конечное значение физической величины (рисунок 1а).

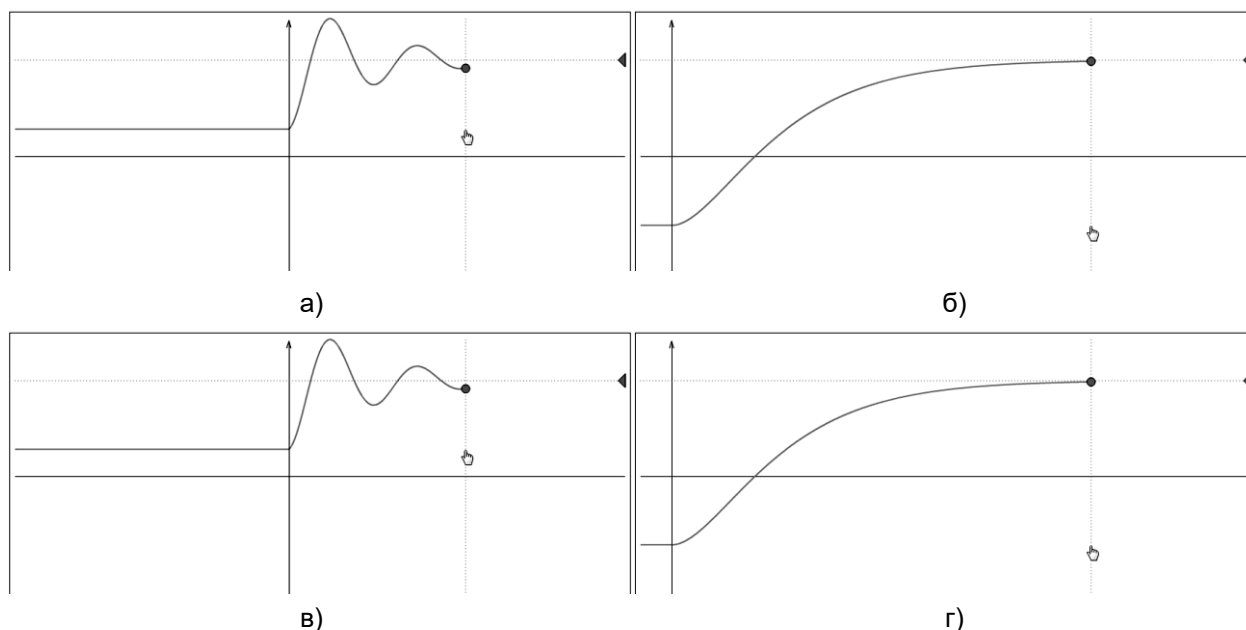


Рисунок 1 – Примеры построения графиков в программе

Запуск переходного процесса осуществляется оттягиванием (рисунок 1б) и отпусканием (рисунок 1в) маркера реального времени rtMarker от установленного положения. При этом символ rtMarker начинает в переходном процессе по тому или иному закону возвращаться назад к конечному (целевому) значению.

На рисунке 1в показано начало колебательного переходного процесса – ось ординат вместе с начальным значением физической величины смещается в левую часть экрана, а рабочая точка стремится к заданному значению.

На рисунке 1г показан завершённый аperiodический переходный процесс (в данном случае переход из области отрицательных значений к установленному положительному значению).

Для этого в программе отслеживаются следующие события:

- MouseEvent.MOUSE_DOWN – событие нажатия на левую кнопку мыши – отслеживается для символов rtMarker и dstMarker. При нажатии кнопки мыши на маркере в соответствующих булевых переменных фиксируется захват маркера.

- MouseEvent.MOUSE_MOVE – событие движения мыши по поверхности соответствующего символа. При этом в зависимости от того, какой маркер «захвачен» вслед за курсором меняется его y -координата. Движение выполняется командой, «Маркер». $y = mouseY$.

- MouseEvent.MOUSE_UP – событие отпускания кнопки мыши – отслеживается для символов rtMarker и dstMarker. Снимается захват маркера и, если в момент отпускания кнопки мыши начальное значение физической величины не совпадает с конечным (целевым), то запускается переходный процесс. При этом в соответствующих переменных запоминаются начальное и конечное значения, а также устанавливаются флаги, указывающие, что необходим расчёт переходного процесса. При этом время приравнивается к нулю (переменная $t = 0$), что соответствует началу переходного процесса.

- MouseEvent.CLICK – событие клика мыши – отслеживается для кнопок переключения формы переходного процесса. В программе предусмотрено пять различных форм перехода от начального значения к конечному:

- без переходного процесса, мгновенное изменение значения;
- переход по экспоненциальному закону;
- переход в аperiodическом режиме с плавным началом;
- переход в аperiodическом режиме с небольшим скачком в начальный момент времени;
- переход в колебательном режиме.

Также на втором слое объявлена доступная из любого места программы функция `getPPValues()`, выполняющая следующие действия.

– В зависимости от пройденного времени (переменная t) замедляется движение графика по оси времени. Для этого по мере увеличения значения переменной t уменьшается количество просчетов, выполняемых за один кадр.

– Выполняется заданное количество просчетов значения физической величины. Все значения физической величины хранятся в массиве `values[]`. В нулевом элементе массива хранится значение, соответствующее маркеру реального времени `rtMarker`, которое меняется по выбранному закону. После каждого его изменения значения элементов массива `values` перезаписываются: $values[i + 1] = values[i]$.

Наконец на третьем слое реализована инициализация всех переменных, основная логика, прорисовка графика и управление временем. Для этого третий слой разбит на три кадра. В первом кадре выполняется инициализация переменных, используемых в программе.

Во втором кадре, если установлен флаг необходимости переходного процесса, запускается функция `getPPValues()`. В противном случае значения массива `values[]` перезаписываются в соответствии с позицией маркера реального времени `rtMarker`.

В символе `graph` (пустой символ со второго слоя) выполняется прорисовка графика. Для этого сначала все построения в символе очищаются функцией `graph.graphics.clear()`. Затем методом `lineStyle(width, color)` указывается толщина и цвет линий. Затем с помощью функций `moveTo(x,y)` и `lineTo(x,y)` на основе координат из массива `values[]` строится график.

В последнем кадре третьего слоя устанавливается заикливание на второй кадр (новый пересчет значений массива `values[]` в зависимости от текущей ситуации).

Разработанное приложение позволяет на лекционных занятиях в реальном времени демонстрировать и анализировать процессы, происходящие при включении, отключении, закорачивании электрической цепи или отдельных ее участков. Динамика в отображении процесса повышает наглядность излагаемого материала.

При самостоятельной проработке учебно-методических материалов работа с приложением позволяет лучше понять основные понятия из теории переходных процессов: что такое начальные условия, принужденная составляющая, как они влияют на ход переходного процесса, а также понять тот факт, что форма переходного процесса не зависит от их значений, а определяется внутренними параметрами цепи. Объяснение этих принципов на визуальном примере повышает уровень понимания рассматриваемых процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кузнецов, А.А. Переходные процессы в линейных электрических цепях: Учебное пособие / А.А. Кузнецов, А.В. Пономарев, А.Ю. Тэттер. – Омск: Омский гос. ун-в. путей сообщения, 2014. – 103 с.
- 2 Colin Moock. *Essential ActionScript 3.0. ActionScript 3.0 Programming Fundamentals*. Publisher: Adobe Developer Library. 2008. 960 p.

REFERENCES

- 1 Kuznetsov A.A., Ponomarev A.V., Tetter A.Yu. *Transients in linear electric circuits [Perekhodnye protsessy v lineinykh elektricheskikh tsepyakh]*. Omsk: Omsk St. Transp. Univ. Publ., 2014. 103 p.
- 2 Colin Moock. *Essential ActionScript 3.0. ActionScript 3.0 Programming Fundamentals*. Publisher: Adobe Developer Library. 2008. 960 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

моделирование, интерактивные технологии, динамика, процесс, программирование, методы, события

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Пономарев Антон Витальевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «ОмГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВО «ОмГУПС»

CONTENTS

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Жендарева Е.С. ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУЗОВОЙ БАЗЫ РЕЧНЫХ ПОРТОВ.....	5
Фюттик И.Г., Савельева Е.В. УПРАВЛЕНИЕ НАЛОГОВЫМИ РИСКАМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТРАНСПОРТА.....	8
Павлова В.Л., Рублев М.Г., Токарева Н.Е. ПОВЕДЕНЧЕСКИЙ АУДИТ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА.....	12
Зачёсов А.В., Дерябина И.С. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ НОВЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР ПО УРОВНЯМ УПРАВЛЕНИЯ НА РЕЧНОМ ТРАНСПОРТЕ.....	18
Носов В.П., Домнин А.С., Кадникова Е.С., Попов В.Н. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПЕРЕВОЗОК ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ.....	22
Адамов Е.И., Сикарев С.Н., Отделкин Н.С., Бахров М.В. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ ПРИ ЗАГРУЗКЕ ОТКРЫТЫХ СКЛАДОВ ГРЕЙФЕРОМ.....	27
Баранова Н.В., Бабаев А.В. РИСК В СНАБЖЕНИИ И ЕГО УЧЕТ В УПРАВЛЕНИИ ЗАПАСАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	30
Бунеев В.М., Пикалин Ю.А. ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	34
Кноль В.А. РЕГИОНАЛЬНАЯ ЛОГИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДОСТАВКИ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	37
Масленников С.Н. ОБЕСПЕЧЕНИЕ СВЯЗНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАПЛАВНЫХ МОСТОВ.....	39
Сахнов Д.Ю. ПРОБЛЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ РЕК СИБИРИ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ ЗАПОЛЯРЬЯ.....	44
Потемкин А.А. УМЕНЬШЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА РЕЧНЫМИ СУДАМИ ПРИ УСТАНОВЛЕННОМ РЕЖИМЕ ДВИЖЕНИЯ.....	47
Пивон Ю.И., Дудина Т.Н. АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ.....	52
Синицын М.Г., Синицын Г.Я., Шарф С.Е. ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА ПО ДОСТАВКЕ ГРУЗОВ НА ПРИТОКИ МАГИСТРАЛЬНЫХ РЕК.....	54

TRANSPORT OPERATION AND ECONOMICS

E.S. Zhendareva PROBLEMS OF THE CARGO TURN-OVER OF RIVER PORTS.....	5
I.G. Fyutik, E.V. Savel'eva TAX RISK MANAGEMENT AT TRANSPORT ENTERPRISES.....	8
V.L. Pavlova, M.G. Rublev, N.E. Tokareva BEHAVIORAL SAFETY AUDIT IN RAILWAY TRANSPORT ENTERPRISES.....	12
A.V. Zachyesov, I.S. Deryabina THEORETICAL FOUNDATIONS OF NEW ORGANIZATIONAL STRUCTURES BUILD-UP AT LEVELS OF MANAGEMENT OF RIVER TRANSPORT.....	18
V.P. Nosov, A.S. Domin, E.S. Kadnikova, V.N. Popov PROVISION OF RELIABILITY OF TIMBER CARGO TRANSPORTATION.....	22
E.I. Adamov, S.N. Sikarev, N.S. Otdelkin, M.V. Bahrov METHOD OF IDENTIFICATION OF BULK CARGOES LOSS WHEN LOADING OPEN WAREHOUSES BY SCOOP CLAMSHELL.....	27
N.V. Baranova, A.V. Babaev SUPPLY RISK AND ITS REGARD IN STOCK MANAGEMENT AT THE ENTERPRISE.....	30
V.M. Buneev, Y.A. Pikalin PROBLEMS OF BUILDING UP THE SYSTEM OF STRATEGIC MANAGEMENT OF THE TRANSPORT ENTERPRISE.....	34
V.A. Knol' REGIONAL NONMETALLIC BUILDING MATERIALS LOGISTICS.....	37
S.N. Maslennikov PROVIDING THE TRANSPORT NETWORK CONNECTIVITY VIA USE OF THE FLOATING BRIDGES.....	39
D.Yu. Sakhnov PROBLEMS OF SIBERIA RIVERS INCLUSION IN TRANSPORTATION AND LOGISTIC SYSTEMS OF POLAR REGIONS.....	44
A.A. Potemkin REDUCTION OF FUEL CONSUMPTION BY RIVER SHIPS UNDER THE SET MOTION MODE.....	47
Yu.I. Pivon, T.N. Duduna ANALYSIS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE FACILITIES IN THE SIBERIAN REGION.....	52
M.G. Sinitsyn, G. Ya. Sinitsyn, S.E. Sharf INDICATORS OF TRANSPORT PROCESS ORGANIZATION EFFICIENCY FOR DELIVERY OF GOODS ON THE TRIBUTARIES OF MAIN STEMS.....	54

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

Ботвинков А.В. РАСЧЁТ ВОДНОГО ПОТОКА РАСПРЕДЕЛЁННОГО ПО РУКАВАМ В МНОГОРУКАВНЫХ УЧАСТКАХ РЕК.....	58
Ворошилова М.И. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В НОВОСИБИРСКЕ.....	60
Калашников А.А. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ ПРОРЕЗЕЙ НА НОВОСИБИРСКОМ ПЛЕСЕ.....	64

INFRASTRUCTURE OF TRANSPORT ROUTES

A.V. Botvinkov CALCULATION OF WATER FLOW IN RIVER DISTRIBUTARIES IN HIGHLY BIFURCATED PARTS OF RIVER DELTAS.....	58
M.I. Voroshilova CURRENT STATE OF HYDRAULIC STRUCTURES AND PROSPECTS OF ITS DEVELOPMENT IN NOVOSIBIRSK.....	60
A.A. Kalashnikov ESTIMATION OF SUSTAINABILITY OF DREDGED CHANNEL IN NOVOSIBIRSK RIVER REACH.....	64

СОДЕРЖАНИЕ

Пивон Ю.И. АНАЛИЗ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ СИБИРСКОГО РЕГИОНА.....	66	Yu.I. Pivon ANALYSIS OF TRANSPORT HYDRAULIC STRUCTURES INTEGRITY LEVEL IN THE SIBERIAN REGION.....	66
СУДОВОЖДЕНИЕ		MANAGEMENT AND MAINTENANCE OF MEANS OF TRANSPORT	
Комаровский Ю.А. ОЦЕНКА ОДНОВРЕМЕННОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ КООРДИНАТ И СКОРОСТИ В СУДОВОМ GPS/ГЛОНАСС ПРИЁМНИКЕ SGN- 500	69	Yu.A. Komarovskiy ESTIMATION OF SIMULTANEOUS CALCULATION OF THE COORDINATES AND SPEED IN MARINE SGN-500 GPS/GLONASS RECEIVER	69
Дыда А.А., Чинчукова Е.П., Чижиков Н.Р. ПРИМЕНЕНИЕ СТЕПЕННЫХ РЯДОВ В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СУДНА	73	A.A. Dyda, E.P. Chinchukova, N.R. Chizhikov POWER SERIES APPLICATION FOR SHIP MATHEMATICAL MODEL IDENTIFICATION	73
Дыда А.А., Чинчукова Е.П., Чижиков Н.Р. РОБАСТНО-АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КУРСОМ СУДНА.....	77	A.A. Dyda, E.P. Chinchukova, N.R. Chizhikov ADAPTIVE ROBUST SHIP COURSE CONTROL.....	77
Кац В.А., Комаровский Ю.А. ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ГОДА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТЕВОГО УГЛА НЕПОДВИЖНОГО GPS-ПРИЁМНИКА SPR-1400	82	V.A. Katz, Yu.A. Komarovskiy TIME OF YEAR EFFECT ON THE COURSE OVER GROUND DISTRIBUTION OF THE STATIONARY GPS-RECEIVER SPR-1400	82
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА		HEAT POWER INDUSTRY	
Кича Г.П., Семенюк Л.А., Кича П.П. КИНЕТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ И КОМБИНИРОВАННОЙ ОЧИСТКИ МОТОРНОГО МАСЛА ФИЛЬТРОВАНИЕМ И ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕМ В ДИЗЕЛЯХ	87	G.P. Kicha, L.A. Semenyuk, P.P. Kicha CONTAMINATION AND COMBINED PURIFICATION KINETICS OF MOTOR OIL BY METHODS OF FILTRATION AND CENTRIFUGATION IN DIESEL ENGINES	87
Кича Г.П., Надежкин А.В., Семенюк Л.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЩЕЛЕВОГО ФИЛЬТРОВАНИЯ МОТОРНОГО МАСЛА ПРИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ДИЗЕЛЯХ	94	G.P. Kicha, A.V. Nadezhkin, L.A. Semenyuk MOTOR OIL METAL EDGE FILTERING PROCESS MODELING AND ITS USE IN DIESEL ENGINES.....	94
Руднев Б.И., Повалякина О.В. ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОТОКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ	100	B.I. Rudnev, O.V. Povalikhina THE FEATURES OF RADIATIVE HEAT FLUXES INTERACTION IN MARINE DIESEL ENGINE COMBUSTION CHAMBER	100
Буйносов А.П., Волков Д.В., Динисламов А.Р. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ГЛУБИНЫ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	104	A.P. Buinosov, D.V. Volkov, A.R. Dinislamov ULTRASONIC NON-DESTRUCTIVE METHOD OF EXAMINATION THE DEPTH OF SURFACE HARDENING OF ROLLING STOCK MECHANICAL PARTS.....	104
Руднев Б.И., Повалякина О.В. ОПТИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕНА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ.....	108	B.I. Rudnev, O.V. Povalikhina OPTICAL AND GEOMETRICAL RADIATIVE HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS IN MARINE DIESEL COMBUSTION CHAMBER	108
Барановский А.М., Спиридонова А.Н. ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВЕСКОЙ НУЛЕВОЙ ЖЁСТКОСТИ	111	A.M. Baranovsky, A.N. Spiridonova CONTROL PRINCIPLES OF ZERO STIFFNESS SUSPENSION	111
Кочергин В.И., Плотников Д.Л. ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОПЛИВОПОДАЧИ И СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ НА ВНЕШНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	114	V.I. Kochergin, D.L. Plotnikov INVESTIGATION OF THE JOINT IMPACT OF PARAMETERS OF FUEL SUPPLY AND AUTOMATIC RPM CONTROL SYSTEMS TO EXTERNAL CHARACTERISTICS OF POWER UNITS	114
Надежкин А.В., Соколова И.В., Лыу К.Х., Старченко М.Е. ПЕРСПЕКТИВНАЯ СИСТЕМА ТОПЛИВОПОДГОТОВКИ ДЛЯ РАБОТЫ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА НИЗКОСЕРНИСТЫХ МАЛОВЯЗКИХ ДИСТИЛЛЯТНЫХ ТОПЛИВАХ.....	118	A.V. Nadezhkin, I.V. Sokolova, Q.H. Luu, M.E. Starchenko A PROMISING FUEL PREPARATION SYSTEM FOR THE OPERATION OF MARINE DIESEL ENGINES ON LOW-SULFUR LOW-VISCOSITY DISTILLATE FUELS	118
Покусаев М.Н., Трифонов А.В. АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСОВ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	122	M.N. Pokusaev, A.V. Trifonov ANALYSIS OF METHODS OF INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF PUMPS OPERATING IN MARINE ENGINES' COOLING SYSTEM.....	122
Спиридонова А.Н. ШУМ ТРЕНИЯ В ОПОРАХ ДИЗЕЛЬ- ГЕНЕРАТОРА	126	A.N. Spiridonova FRICTION NOISE IN DIESEL GENERATOR SUPPORTS	126

CONTENTS

Спиридонова А.Н. КОМПЕНСАТОР ВЕСА В ПОДВЕСКЕ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	A.N. Spiridonova WEIGHT COMPENSATOR IN MARINE ENGINE MOUNTING.....	128	128
Тарасов В.В. РЕГЕНЕРАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ НА СУДАХ В ЦЕЛЯХ УМЕНЬШЕНИЯ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ.....	V.V. Tarasov REGENERATION OF USED OIL ON SHIPS IN ORDER TO REDUCE HUMAN IMPACT ON THE ENVIRONMENT.....	131	131
Горелик Г.Б., Маницын В.В., Мозолев О.Н. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА НИЗКОСЕРНИСТЫХ МАЛОВЯЗКИХ ТОПЛИВАХ.....	G.B. Gorelik, V.V. Manitsyn, O.N. Mozolev PROVIDING MARINE DIESEL OPERATION ON LOW-SULPHUR LOW-VISCOSITY FUEL.....	140	140
Алехин А.С., Задорожнин Л.К. ВЛИЯНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ВЫПУСКНОЙ СИСТЕМЫ НА РАБОТУ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	A.S. Alekhin, L.K. Zadorozhnin EFFECT OF EXHAUST SYSTEM MALFUNCTIONS ON DIESEL ENGINE OPERATION.....	144	144
Губин Е.С., Дмитриев А.С., Титов С.В., Юр Г.С. ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЯ Ч10,5/12 ПРИ РАБОТЕ НА СУДОВОМ МАЛОВЯЗКОМ ТОПЛИВЕ.....	E.S. Gubin, A.S. Dmitriev, S.V. Titov, G.S. Yur INVESTIGATION OF SPEED CHARACTERISTICS OF Ч10.5/12 DIESEL WHEN OPERATING ON MARINE LOW- VISCOSITY FUEL.....	148	148
Носонова Е.Е., Дмитриев А.С., Юр Г.С. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЯ Ч10,5/12 ПРИ РАБОТЕ НА МОДИФИЦИРОВАННОМ ТОПЛИВЕ.....	E.E. Nosonova, A.S. Dmitriev, G.S. Yur EXPERIMENTAL RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF Ч10.5/12 DIESEL OPERATING ON MODIFIED FUEL.....	150	150
Кулешов И.И., Ходаковский В.М. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.....	I.I. Kuleshov, V.M. Khodakovskii NUMERICAL MODELING OF STRAIN HARDENING OF CAST IRON PARTS OF SHIP POWER PLANTS.....	152	152
Фомичев П.А., Фомичева Е.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ.....	P.A. Fomichev, E.V. Fomicheva OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF VIBRATION PROTECTION SYSTEMS WITH INCREASING LIQUID PRESSURE.....	155	155
Иванчик С.Н., Иванчик И.С. СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ И МЕХАНИЗМОВ.....	S.N. Ivanchik, I.S. Ivanchik QUALITY MANAGEMENT SYSTEM AS A TOOL OF INCREASING THE RELIABILITY OF PARTS AND MACHINERY.....	159	159
Медведев Г.В. ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СВЧ- ФИЛЬТРОВ КАТАЛИТИЧЕСКИХ НЕЙТРАЛИЗАТОРОВ.....	G.V. Medvedev FEATURES OF DETERMINATION OF NATURAL FREQUENCY OF SHS FILTERS OF CATALYTIC CONVERTERS.....	162	162

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Нечитаев Р.А. ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В ИЗОЛЯЦИИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ.....	R.A. Nechitaev ENERGY LOSSES IN OVERHEAD POWER LINES INSULATION.....	166
Манусов В.З., Бумцэнд У. ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ МОНГОЛЬСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПРИ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОРИДОР АЗИЯ- ЕВРОПА.....	V.Z. Manusov, U. Bumtsend OPTIMAL REGIMES OF THE MONGOLIAN POWER SYSTEM DURING ELECTRIFICATION OF THE ASIA-EUROPE RAILWAY CORRIDOR.....	170
Манусов В.З., Ганиев З.С., Султонов Ш.М. ОЦЕНКА ДОСТУПНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ЗА СЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН.....	V.Z. Manusov, Z.S. Ganiev, Sh.M. Sultonov ESTIMATION OF ENERGY RESOURCES AVAILABILITY BY SOLAR RADIATION IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN.....	174
Антонов А.И., Денчик Ю.М., Зубанов Д.А., Зубанова Н.В., Иванова Е.В., Руппель А.А., Сальников В.Г. АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНДУКТИВНОЙ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПОМЕХИ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ ПО ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ.....	A.I. Antonov, Ju.M. Denchik, D.A. Zubanov, N.V. Zubanova, E.V. Ivanova, A.A. Ruppel, V.G. Sal'nikov ALGORITHM OF DETERMINATION OF CONDUCTIVE LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE USING ASYMMETRY COEFFICIENT OF THE VOLTAGE BY THE REVERSE SEQUENCE.....	177
Пахомова Л.В., Мочалин К.С., Пахомова В.В. ВИБРАЦИЯ ПРОВОДОВ И ТРОСОВ.....	L.V. Pakhomova, K.S. Mochalin, V.V. Pakhomova VIBRATIONS OF CONDUCTORS AND OVERHEAD SHIELD WIRES.....	182
Манусов В.З., Хрипков В.В., Фролова В.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА	V.Z. Manusov, V.V. Khripkov, V.V. Frolova COMPARATIVE ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS FOR DETERMINING THE COEFFICIENT OF	

ELECTRIC POWER INDUSTRY

R.A. Nechitaev ENERGY LOSSES IN OVERHEAD POWER LINES INSULATION.....	166
V.Z. Manusov, U. Bumtsend OPTIMAL REGIMES OF THE MONGOLIAN POWER SYSTEM DURING ELECTRIFICATION OF THE ASIA-EUROPE RAILWAY CORRIDOR.....	170
V.Z. Manusov, Z.S. Ganiev, Sh.M. Sultonov ESTIMATION OF ENERGY RESOURCES AVAILABILITY BY SOLAR RADIATION IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN.....	174
A.I. Antonov, Ju.M. Denchik, D.A. Zubanov, N.V. Zubanova, E.V. Ivanova, A.A. Ruppel, V.G. Sal'nikov ALGORITHM OF DETERMINATION OF CONDUCTIVE LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE USING ASYMMETRY COEFFICIENT OF THE VOLTAGE BY THE REVERSE SEQUENCE.....	177
L.V. Pakhomova, K.S. Mochalin, V.V. Pakhomova VIBRATIONS OF CONDUCTORS AND OVERHEAD SHIELD WIRES.....	182
V.Z. Manusov, V.V. Khripkov, V.V. Frolova COMPARATIVE ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS FOR DETERMINING THE COEFFICIENT OF	

СОДЕРЖАНИЕ

УВЕЛИЧЕНИЯ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ ОТ ВЫСШИХ ГАРМОНИК 184	INCREASING THE ACTIVE RESISTANCE OF CONDUCTORS FROM HIGHER HARMONICS..... 184
Манусов В.З., Ахьёев Д.С., Киргизов А.К. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ МЕГАПОЛИСА 189	V.Z. Manusov, Dz.S. Ahyoev, A.K. Kirgizov OPTIMIZATION OF URBAN POWER NETWORK REGIMES IN METROPOLITAN CITY 189
Иванова А.Г., Реутов С.Н. ХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЬНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ И ПОВЫШЕНИЕ ИХ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ 192	A.G. Ivanova, S.N. Reutov CHEMICAL PROCESSING AND INCREASING THE CORROSION RESISTANCE OF STEEL ARTIFICIAL GROUNDING ELECTRODES 192
Манусов В.З., Халдаров Ш.К., Холдонов А.А. ИНТЕГРАЦИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В ЭНЕРГОСИСТЕМУ С ПОМОЩЬЮ ПРЕДИКТОРНОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕТРА И ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ 196	V.Z. Manusov, Sh.K. Khaldarov, A.A. Kholdonov WIND POWER PLANTS INTEGRATION TO THE POWER SYSTEM WITH THE PREDICTION MODEL OF WIND AND POWER CONSUMPTION 196
Дёмин Ю.В., Елизаров Д.А., Манусов В.З., Иванов Г.В., Кузнецов А.Ю., Палагушкин А.Б., Реутов С.Н. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ 200	Yu.V. Demin, D.A. Elizarov, V.Z. Manusov, G.V. Ivanov, A.Yu. Kuznetsov, A.B. Palagushkin, S.N. Reutov IMPROVING THE METHODS OF CONTROL AND ANALYSIS OF NON-SINUSOIDAL VOLTAGE INDICATORS IN ELECTRIC POWER SYSTEMS 200
Смыков Ю.Н., Zubанов Д.А., Денчик Ю.М., Сальников В.Г., Иванова Е.В., Иванов М.Н. ЗНАЧИМЫЕ РЕГУЛИРУЮЩИЕ ЭФФЕКТЫ ПО НАПРЯЖЕНИЮ ФИДЕРА СУДОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ 206	Yu.N. Smykov, D.A. Zubanov, Ju.M. Denchik, V.G. Sa'nikov, E.V. Ivanova, M.N. Ivanov IMPORTANT VOLTAGE-REGULATING EFFECTS OF LOAD IN SHIP POWER LINE 206
ЭКОЛОГИЯ	ECOLOGY
Фютик И.Г., Рослякова О.В. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ТРАНСПОРТНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 212	I.G. Fyutik, O.V. Roslyakova ESTIMATION OF ENVIRONMENTAL SAFETY AND TRANSPORT ENVIRONMENTAL RISK IN THE RUSSIAN FEDERATION 212
Зайцев В.П., Рослякова О.В., Клименко М.В., Кирилук А.И. МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ВОДНЫМ ТРАНСПОРТОМ 220	V.P. Zaytsev, O.V. Roslyakova, M.V. Klimenko, A.I. Kirilyuk METHODS OF REDUCING THE ENVIRONMENT POLLUTION WITH WATER TRANSPORT 220
Вьюгов В.В., Седых В.А., Енаки Е.С. ТРАНСПОРТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СБОРА ПЛАВАЮЩЕЙ ДРЕВЕСИНЫ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩА 225	V.V. V'yugov, V.A. Sedykh, E.S. Enaki HYDROLOGICAL TRANSPORT RATIONALE FOR THE COLLECTION OF FLOATING WOOD FROM THE WATER SURFACE OF RESERVOIR 225
Седых В.А., Енаки Е.С., Сорокин Е.М. НАТУРНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ БЕРЕГОВОЙ ПОЛОСЫ ВОДОХРАНИЛИЩА 230	V.A. Sedykh, E.S. Enaki, E.M. Sorokin FIELD RESEARCH OF THE RESERVOIR FORESHORE 230
ТРАНСПОРТНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ	TRANSPORT EDUCATION
Носов В.П., Белоногов А.А., Болдырев В.М. АНАЛИЗ ВЫПУСКНИКОВ ЭКОНОМИКИ ЗА 25 ЛЕТ РАБОТЫ ФАКУЛЬТЕТА «УПРАВЛЕНИЕ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ» 239	V.P. Nosov, A.A. Belonogov, V.M. Boldyrev ANALYSIS OF GRADUATES OF "WATER TRANSPORT MANAGEMENT" FACULTY FOR 25 YEARS 239
Куделин О.Г., Фомин В.И. НАХОЖДЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КООРДИНАТ ЭКСТРЕМУМА ДЛЯ НЕКОТОРОЙ ФУНКЦИИ, СОСТАВЛЕННОЙ СУММОЙ РАДИКАЛОВ, НАГРУЖЕННЫХ КОЭФФИЦИЕНТАМИ 244	O.G. Kudelin, V.I. Fomin FINDING THE EXTREMUM COORDINATES FOR SOME FUNCTION DEFINED BY A SUM OF RADICALS WITH COEFFICIENTS 244
Куделин О.Г., Фомин В.И. ТОЧНОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕКОТОРОГО КЛАССА ОПРЕДЕЛЁННЫХ ИНТЕГРАЛОВ С ПОМОЩЬЮ РАЗЛОЖЕНИЯ ПОДЫНТЕГРАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ В СХОДЯЩИЕСЯ СТЕПЕННЫЕ РЯДЫ ТЕЙЛОРА 247	O.G. Kudelin, V.I. Fomin ACCURATE CALCULATION OF SOME CLASS OF DEFINITE INTEGRALS BY USING TAYLOR EXPANSION OF INTEGRANDS 247
Протопопова Н.П. КОМПЕТЕНТНОСТНЫЙ ПОДХОД ПРИ ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ 249	N.P. Protopopova COMPETENCY-BASED APPROACH IN TEACHING PHYSICS 249
Куделин О.Г., Фомин В.И. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КООРДИНАТ ТОЧКИ ЭКСТРЕМУМА ДЛЯ НЕКОТОРОГО КЛАССА	O.G. Kudelin, V.I. Fomin THEORETICAL APPROACH TO FINDING THE EXTREMUM COORDINATES FOR SOME CLASS

CONTENTS

ФУНКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГЕБРЫ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ 253	OF FUNCTIONS USING ALGEBRA AND ANALYTIC GEOMETRY 253
Пономарев А.В. ПРИМЕНЕНИЕ FLASH-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕРАКТИВНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ 256	A.V. Ponomarev USING FLASH TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT TRANSITION PROCESSES MODELING INTERACTIVE APPLICATION 256

ПОРЯДОК ПРИЕМА МАТЕРИАЛОВ

Уважаемые коллеги!

Редакция журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока», приглашает Вас опубликовать результаты Ваших научных исследований в очередном номере журнала. Материалы (заявку и статью) просим высылать ответственному секретарю журнала Коновалову В.В. по электронной почте: konovalov@nsawt.ru. Оригиналы по почте на адрес Университета с пометкой для Коновалова В.В.

Заявка на публикацию научной статьи

	на русском языке	на английском языке
НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (без каких-либо сокращений и символов)		
Аннотация (до 300 знаков)		
Ключевые слова (от 3 до 10 слов)		
Организация (полное юридическое название и полный почтовый адрес работы каждого из авторов)		
Автор(ы) (ФИО полностью, ученая степень, занимаемая должность, числовой идентификационный номер автора: Author ID в системе РИНЦ)		
Количество ссылок на литературу		
Координаты для обратной связи (ФИО полностью, адрес электронной почты, мобильный телефон*)		

*-номер мобильного телефона необходим для оперативного решения возможных вопросов по поводу публикации и разглашению не подлежит

С условиями публикации ознакомлен(ы), представленный материал ранее не был опубликован, о рецензировании статьи компетентным по тематике статьи лицом не возражаем.

Дата

Подпись(и)

Требования к представлению материалов:

- 1 Статья (оригинал) и ее электронная версия в формате MS WORD (объем 3-5 страниц А4, шрифт Arial размер 14, одинарный интервал, поля 2 см).
- 2 Заявка (оригинал) и ее электронная версия в формате MS WORD на публикацию научной статьи.
- 3 Графический материал не подлежит правке при наборе (при выполнении рисунков поясняющий текст должен быть разборчив); размеры рисунка не более 15×15 см; глубина цвета – оттенки серого.
- 4 Ширина таблиц не более 15 см.
- 5 Все математические формулы и выражения должны быть набраны в специальном редакторе формул (Mathtype и др.), шрифт Arial.
- 6 Обязательные ссылки на список литературы выполняются сквозной нумерацией арабскими цифрами, в квадратных скобках в порядке указания. На каждый указанный в списке источник, должны быть ссылки в тексте статьи.

Редколлегия оставляет за собой право литературной редакции содержания статьи без согласования с автором(и)

С условиями публикации материалов можно ознакомиться у ответственного секретаря журнала Коновалова Валерия Владимировича по электронной почте: konovalov@nsawt.ru. Почтовый адрес: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д. 33. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта» а также на интернет-странице по адресу: <http://www.ssuwt.ru> в разделе «Наука-Научные издания». Для аспирантов очного отделения публикация материалов в журнале – бесплатно, в порядке очередности и актуальности.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ
Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока
№1 за 2018 год

Главный редактор – Зачёсов В.П.

Ответственный за выпуск – Коновалов В.В.
Перевод на английский язык – Руденко К.Д.

Подписано в печать 16.04.2018 г. с оригинал-макета
Бумага офсетная №1, формат 60х84 1/8, печать трафаретная – Riso.
Усл. печ. л. 30,9; тираж 500 экз. Заказ №29
Цена свободная.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, тел. (383)222-64-68,
факс (383)222-49-76

Отпечатано в издательстве ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС77-22440 выдано 20.12.2005 г.

ISSN 2071-3827

Подписной почтовый индекс 62390