

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА СИБИРИ НА РЫНКЕ ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

В.П. Зачёсов, С.В. Бунташова

PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF SIBERIAN RIVER TRANSPORT ON THE TRANSPORT MARKET

Siberian state university of water transport

V.P. Zachyev, S.V. Buntashova

Priority directions of actual river transport development on territory of Siberia are reviewed in article.

Keywords: transportation system, logistics, transportation corridor, small rivers

Рассмотрены основные направления развития речного транспорта Сибири.

Сибирь в соответствии с Конституцией РФ рассматривается как совокупность субъектов Российской Федерации, защищающих развитие производительных сил на ее территории, а также интересы местного населения, принимающие управляющие решения в пределах своей территории в рамках конституционных процедур.

Сибирь занимает 75% всей площади Российской Федерации, здесь проживает 13% населения страны со средней плотностью 2,2 человека на один квадратный километр, что в 4,2 раза меньше аналогичного показателя в целом по стране.

Производительные силы Сибири в настоящее время на базе использования дешевых топливно-энергетических и лесных ресурсов, месторождений минерального сырья получают ускоренное развитие. Однако освоение природных богатств этого края сдерживается, в том числе недостаточной плотностью сухопутных транспортных путей.

Среднесетевые показатели в общей транспортной системе России на азиатской территории намного уступают показателям европейской части страны. В то же время Сибирь обладает большой и разветвленной сетью речных путей, которые играют существенную роль в этом регионе, особенно в слабо освоенных районах практически с полным отсутствием альтернативных видов транспорта. Кроме этого речной транспорт обладает рядом преимуществ по сравнению с другими видами транспорта. Основные из них следующие:

- способность перевозить различные виды грузов (насыпные, навалочные, штучные, наливные);
- конструкция судов позволяет на них размещать негабаритные, тяжеловесные, длинномерные и громоздкие грузы;
- обеспечивает низко затратные грузовые перевозки, в том числе и большегрузные, плотовые;
- имеют относительно невысокую себестоимость доставки грузов в расчете на один тонно-км выполненной продукции;
- единовременные затраты на освоение одного километра речного пути на порядок меньше по сравнению с другими видами транспорта.

Все преимущества в настоящее время не используются в полной мере, что серьезно снижает конкурентоспособность речного транспорта в общей транспортной системе страны.

Длина водных транспортных путей на востоке превышает 75 тыс. км, что составляет 68% от их общей длины по Российской Федерации. Однако общий объем грузооборота остается низким. Соотношение речных транспортных путей и показателей перевозок в России в 5-10 раз меньше, чем в ряде стран Европы, Китая и США. Размещение производительных сил в Сибири рассредоточено на огромной площади – промышленные предприятия, рудники, нефтегазовые месторождения, леспромхозы. К каждому из них провести железную дорогу не только невозможно в ближайшее время, но и вообще экономически нецелесообразно, исходя из динамики их развития. В связи с этим роль речного транспорта в Сибири не уменьшится даже в отдаленной перспективе.

Общее состояние и характеристика занятости речного транспорта в восточных районах страны в настоящее время сводится к следующему. В Западной Сибири в Обь-Иртышском бассейне речные перевозки связаны с освоением нефтяных и газовых ресурсов, а также новых лесных массивов. Речной флот осуществляет в эти районы доставку строительных ма-

териалов, труб и бурового оборудования, угля, промышленных и продовольственных товаров.

Енисейский бассейн связывает южные районы Восточной Сибири и Заполярье, осваивает грузовые потоки минерально-строительных материалов, леса, нефтепродуктов, угля, удовлетворяет потребности Норильского горно-обогатительного комбината, осуществляет доставку вверх по Енисею продукцию этого комбината.

По водным путям Иркутской области и республики Саха (Якутия) по Лене перевозятся грузы из порта Осетрово, поступающие в порт с железной дороги, во все районы республики до дельты реки. Далее по Северному Морскому пути в бассейны рек Яна, Индигирка, Колыма, Оленек, Анабар. Структура перевозок многообразна: нефтепродукты, лес, минерально-строительные, уголь, промышленные и продовольственные товары.

На Дальнем Востоке в бассейне реки Амур осуществляются перевозки нефти, металла, угля, зерна, рыбы, соли, промышленных товаров.

Без участия речного транспорта выполнить такой объем работы в современных условиях не представляется возможным.

Экономические реформы, проводимые в России, привели к резкому спаду производства, разрыву хозяйственных связей предприятий, налаженных транспортных схем, взаиморасчетов и т.д. Это оказало прямое влияние на работу речного транспорта. Количество перевозок грузов на внутренних водных путях сократилось в несколько раз, множество единиц флота выведено на холодный отстой, часть списана, продана или сдается в аренду. Флот, находящийся в эксплуатации, снизил свои производственные показатели. Рабочее ядро транспортного флота Сибири морально устарело. Финансовое состояние большинства судоходных компаний не позволяет заниматься обновлением своего парка транспортных судов. Рентабельность работы предприятий остается крайне низкой.

Государственные бассейновые Управления водных путей и судоходства из-за отсутствия должного финансирования практически прекратили работы по поддержанию судоходных условий на внутренних водных путях (ВВП), не проводятся в необходимом количестве путевые работы по их коренному улучшению, на ряде участков снята освещаемая судоходная обстановка. Это привело к существенному снижению габаритов судового хода. За последние 20 лет глубины на ВВП сократились на 25-30%. Как следствие крупнотоннажный флот, построенный в дореформенный период, вынужден эксплуатироваться с неполной загрузкой, резко снизилась рентабельность перевозок, что ведет к повышению расходов на перевозки и, как следствие, возрастают расходы грузоотправителей. В этом случае плановые для речного транспорта грузопотоки уходят на смежные виды транспорта.

Выбор России в пользу рыночной экономики, образование новых форм собственности существенным образом изменили условия работы речного транспорта, характер спроса на его услуги. Анализ работы речного транспорта Сибири в рыночных условиях показывает, что большинство преимуществ отрасли, успешно работающие при плановой экономике, реализуются далеко не в полной мере. Об этом свидетельствуют материалы «Транспортная стратегия РФ до 2030 года», где отмечено, что развитие речного транспорта в целом по стране существенно отстает от смежных видов транспорта и в частности по водным путям Сибири.

В настоящее время на внутренних водных путях Сибири общее количество крупных субъектов, осуществляющих самостоятельную деятельность, насчитывается около 700 единиц, в том числе 58% судоходных компаний, 30% предприятий, специализирующихся на перегрузочных работах и более 10% частных фирм. На этой основе формируется реальная конкурентная среда на рынке транспортных услуг среди этих субъектов. Однако серьезных успехов в их работе пока не достигнуто по ряду объективных и субъективных причин на уровне решения перспективных проблем развития и текущих задач речного транспорта.

В таких условиях организовать их согласованное взаимодействие трудно или невозможно вообще. Выход из создавшегося положения возможен через интеграцию предприятий – организацию холдингов, то есть крупных предприятий, владеющих частью или всеми акциями других, более мелких предприятий и осуществляющих контроль над их деятельностью.

В этом случае входящие в холдинг компании объединяются в единую информационно-диспетчерскую систему, а экспедитор и оператор увязывают работу флота и портов по заранее обусловленному графику в интересах грузовладельцев. В такой системе хозяйствования уместно внедрение логистических принципов в управлении доставкой грузов потребителям. Необходимо создавать сеть центров транспортной логистики в каждом бассейне. Та-

кие примеры на речном транспорте Сибири есть. Известно, что рыночные логистические системы открывают возможности повышения эффективности функционирования материальных потоков, позволяют существенно сократить сроки доставки грузов между приобретением сырья и полуфабрикатов и поставкой продукта потребителю, способствуют резкому сокращению материальных запасов. Логистика на уровне отдельной фирмы не дает и не может дать такого экономического эффекта.

Перспективы существования речного транспорта Сибири определяются стратегическим направлением развития транспортного комплекса России, и ее отношением к Сибирскому региону. Деятельность речного транспорта на территории Сибири целиком подчинена той роли, которую должна играть Сибирь в будущем мирового сообщества.

Освоение важнейших для России природных ресурсов Сибири будет обеспечиваться путем формирования и развития территориально-промышленных комплексов и промышленных узлов, к которым в годы проведения экономических реформ незаслуженно ослаблено внимание. Роль этих промышленных объединений в развитии производительных сил региона в перспективе будет возрастать. Оценивая работу речного транспорта на перспективу, следует выделить его роль и значение отдельно на макроэкономическом и микроэкономическом уровнях развития. В первом случае рассматривается место и роль речного транспорта в осуществлении международных и межрегиональных перевозок грузов. Во втором – внутрибассейновые перевозки.

Стратегия экономического развития Сибири оценивает место Сибири в российской экономике через огромные ресурсные возможности региона, которые используются как на внутреннем, так и на мировом рынках. В связи с этим важной задачей речного транспорта Сибири является его участие в решении проблемы вывоза сырья за пределы региона, в том числе и в зарубежные страны Азии (Япония, Китай, Корея) и Европы, а также завоз необходимых промышленных и продовольственных товаров для развития производительных сил и обеспечения жизнедеятельности в азиатской части России.

Воднотранспортная система Сибири представлена Обь-Иртышским, Ангаро-Енисейским, Ленским, Амурским бассейнами. Основные магистральные реки, исключая Амур, впадают в моря Северного Ледовитого океана. Трансиб и Северный Морской путь (СМП) на территории России, в силу своего геополитического и экономического положения, в настоящее время обустраиваются и рассматриваются в качестве международных транспортных коридоров, а реки Сибири – Обь, Енисей и Лена связывают эти коридоры между собой, образуя транспортную систему (решетку) «Трансиб - Обь, Енисей, Лена - СМП». После решения ряда организационно-технических вопросов эти пути, включая БАМ, АЯМ, а в перспективе и Северо-Сибирскую и Полярную железнодорожные магистрали, можно использовать в системе международных транспортных коридоров.

Учитывая растущий интерес к международным перевозкам в направлении Североамериканского континента - Европы, особенно в контейнерном исполнении, действующие пропускные способности путей в широтном направлении могут оказаться недостаточными. В этом случае возникает необходимость постепенной разгрузки от массовых грузов межрегионального внутрироссийского сообщения и передачи части грузов на внутренние водные пути с выходом на СМП.

В этой ситуации необходимо рассматривать проблему реанимации СМП, как важнейшего звена в инфраструктуре Крайнего Севера, связывающего российский Дальний Восток и западные районы страны. Этот путь полностью доступен для международного транзитного плавания из Азиатско-Тихоокеанского региона в Европу и в перспективе может стать конкурентом Суэцкому каналу.

При этом по-новому оценивается роль внутреннего водного транспорта в хозяйственном развитии России – речные пути становятся единственными транспортными связями между транспортными коридорами в меридиональном направлении, а в местах пересечения водных и железнодорожных путей образуются крупные воднотранспортные узлы так необходимые для решения логистических задач в рамках международных транспортных связей.

В связи с изложенным, актуальной проблемой на современном этапе становится совместная разработка стратегических планов развития железнодорожных и водных магистралей, образуя «Сибирскую транспортную решетку XXI века». Эту проблему необходимо решать на уровне Министерства транспорта РФ в составе группы специализированных подразделений Сибири.

При решении проблемы следует учитывать, что транспорт при акционировании утратил

системные свойства, без чего не в состоянии по-настоящему работать эффективно. Создавать реально работающую единую транспортную систему в условиях рыночной экономики непросто, когда каждая транспортная компания, а таковых в настоящее время тысячи, будет преследовать узко корпоративные цели. Основой стратегического планирования транспортной отрасли должна являться интеграция предприятий и различных видов транспорта.

Другой, не менее актуальной проблемой на современном этапе становится необходимость найти сбалансированное решение совместной согласованной работы речного и смежных видов транспорта, а также научно обосновать в новых экономических условиях технико-эксплуатационные параметры основных составляющих материально-технической базы речного транспорта, имея в виду водные пути, транспортные и перегрузочные средства.

Сбалансированное решение совместной деятельности судоходных компаний со смежными видами транспорта рассматривается в составе основных вариантов сообщения речного транспорта: прямое водное (с участием речных и морских судоходных компаний) и прямое смешанное (железнодорожно-водное и водно-автомобильное). Первое характерно для районов рек Сибири: Оби, Енисея, Лены, Яны, Индигирки, Колымы, Анабара - и Северным Морским путем, а также Амурским бассейном и Тихоокеанским районом. Второе – для районов, тяготеющих к Транссибу на стыке с речными портами: Омск, Новосибирск, Красноярск, Осетрово, Хабаровск - и с многочисленными автохозяйствами на стыке с портами и пристанями на территории Сибири. К основным элементам материально-технической базы речного транспорта в части их согласования по количественным параметрам в данном случае относятся водные пути, перевозочные средства (флот) и перегрузочные пункты (порты, пристани).

Эти элементы тесно связаны между собой, образуют сложную управляемую систему, развитие их нельзя рассматривать отдельно. Однако в условиях образования множества самостоятельных предприятий такую работу можно успешно выполнять только при государственной поддержке и регулировании.

В дореформенный период Минречфлот РФ регулярно совместно с проектными и научными организациями разрабатывал сетку типов судов и перегрузочной техники в зависимости от потребностей народного хозяйства в услугах речного транспорта.

Аналогично, с учетом рыночного механизма, этот опыт можно использовать на основе кооперирования крупных судоходных компаний, на государственном уровне особую роль в системе транспортных связей Сибири имеют малые реки. Общее количество малых рек по Восточным бассейнам – 150 единиц, которые можно использовать для перевозки грузов и пассажиров. Протяженность этой категории водных путей составляет более половины речных магистралей региона. В большинстве районов они оказываются основным и даже единственным видом транспортных путей для перевозки массовых грузов и существенно влияют на развитие производительных сил этих районов.

Однако по ряду объективных и субъективных причин из общего числа малых рек Сибири, пригодных для судоходства, используется для перевозок только 30%.

Кроме того важной проблемой для Сибири является своевременное осуществление северного завоза грузов, в том числе в трудно доступные районы, в которых невозможно выполнить эти работы без участия малых рек. В таких районах целесообразно проводить реконструкционные изыскания не освоенных для судоходства малых рек, включая их в хозяйственный оборот. Положительный опыт такой работы в университете имеется.

В рыночных условиях для реализации принятых хозяйственных проектов следует шире использовать государственно-частное партнерство, основываясь на федеральном законе «О государственно-частном партнерстве» (от 13 июля 2015 г., №224-ФЗ). Специально юридически оформленное на определенный срок взаимовыгодное сотрудничество позволяет объединять не только ресурсы, но и грамотно распределять риски между партнерами, что в условиях Сибири оказывается особенно важным фактором роста экономики, способствующим ее устойчивому бескризисному развитию.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспортная система, логистика, транспортные коридоры, малые реки
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Зачёсов Венедикт Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Бунташова Светлана Венедиктовна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

РАБОТА ВОДНОГО ТРАНСПОРТА В РАЙОНАХ АЗИАТСКОГО ЗАПОЛЯРЬЯ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.В. Зачёсов, И.С. Дерябина

WORK OF WATER TRANSPORT IN THE AREAS OF ASIAN POLLUTION

Siberian state university of water transport

A.V. Zachyosov, I.S. Deryabina

The possible options for operation of water transport in the Asian areas of the Arctic.

Keywords: transport in the Arctic, northern delivery, fleet

Рассмотрены возможные варианты работы водного транспорта в районах Азиатского заполярья.

Заполярье – условное географическое понятие территории РФ в границах: с юга – Северный полярный круг, с севера – моря Северного Ледовитого океана. Делится на две части, Европейская (от Кандалакши до Урала) и Азиатская (от Урала до Уэлен). Последняя занимает 2/3 общей территории Заполярья.

Районы Азиатского Заполярья характеризуются рядом особенностей геополитического, экономического и организационного характера. Основные из них следующие:

– районы трудодефицитны, в них практически отсутствуют местные трудовые ресурсы. Плотность населения в этих районах крайне низкая (от 0,02 до 1,3 чел./кв. км в зависимости от местонахождения);

– суровые природно-климатические условия (от -25 °С до -60 °С в январе);

– сроки замерзания и вскрытия рек, озер, морей, обмеления рек зависят от сезонных колебаний температур воздуха (длительность навигации колеблется от 50 дней до 4-х месяцев);

– вечномёрзлые грунты и тундровые заболоченные почвы (строительство дорог, аэродромов, буровые работы связаны с большими затратами);

– слабая схема магистральных транспортных путей (опорную сеть составляют речной транспорт и Северный морской путь).

На территории Заполярья сосредоточено значительное количество минеральных и сырьевых ресурсов. По данным международного форума «Арктика – территория диалога» прошедшего в Архангельске в марте 2017 г. отмечается, что на долю этой территории приходится 95% газа, 100% алмазов, кобальта, никеля – 90%, золота – 40% и других природных ресурсов. По прогнозам ученых общая сумма

В настоящее время на арктическом шельфе добывается 80% газа и 17% нефти. Эти полезные ископаемые по территории Арктической зоны рассредоточены неравномерно и осваиваются по-разному.

В северной части Уральского Федерального округа представляет интерес Обское Заполярье. Интенсивное освоение края началось в 1950-1970 гг. в связи с разведкой и эксплуатацией газовых и нефтяных месторождений. Были открыты Ямбургское, Уренгойское, Заполярное, Арктическое, Медвежье, Харасавейское, Бованенковское и другие месторождения. В настоящее время интерес к освоению этих территорий вновь возникает с учетом реально складывающейся экономической, политической и социальной ситуацией в России. В ближайшей перспективе весь прирост добычи газового топлива будет осуществляться с территории Обского Заполярья и шельфа Карского моря.

На Крайнем Севере Сибирского Федерального округа в настоящее время и в ближайшей перспективе интерес представляет Норильский горно-металлургический комбинат и вновь открытое нефтяное Ванкорское месторождение.

В особых условиях находится Северо-Восточная часть страны: Республика Саха (Якутия), Магаданская и Камчатская области. Район богат минеральными и сырьевыми ресурсами. На территории Арктического побережья частично расположены Западно-Якутский, Нижне-Янский и Колымо-Индигорский подрайоны. В составе Западно-Якутского подрайона развивается алмазодобывающая промышленность (алмазные трубки – Мирный, Айхал, Удачный). Колымо-Индигорский подрайон известен Зырянским месторождением каменного угля. Каменный уголь доставляется в Билибеньский и Чаунский подрайоны Чукотки. В Нижне-Янском подрайоне открыты богатейшие месторождения олова (Депутатский, Эга-Хая, Бата-

гай). Перспективы подрайона связаны со строительством крупнейшего в стране Депутатского горно-обогатительного комбината, освоением Агылкинского медно-вольфрамового, Верхне-Манкеченского полиметаллического, Пальчинского и Калычанского рудных месторождений. Таким образом, Арктика – зона стратегических интересов России. Она, по мнению ученых академии наук может давать 15% ВВП страны.

Для успешного освоения Заполярья ключевым элементом, обеспечивающим доступность природно-сырьевого потенциала, создания благоприятных условий для проживания является транспорт.

Для обустройства северных территорий необходимы в значительных количествах строительные материалы, машины, оборудование, промышленные и продовольственные товары, которые нужно завозить на эти территории.

Транспортная обеспеченность территории остается недостаточной и в ближайшей обозримой перспективе положение не изменится. Основным видом транспорта в настоящее время является водный, который представлен речным и морским видами.

Географически, судоходство флотом речного транспорта в районе Арктического побережья осуществляется в Обь-Енисейском и Северо-Восточном районах. Первый район включает в себя Карское море, Обскую и Тазовскую губы, Енисейский залив и устьевые участки рек Оби и Енисея с их притоками. Второй – моря Лаптевых и Восточно-Сибирское, а также устья рек Лены, Яны, Индигирки, Колымы, Анадыря, Оленека и Хатанги с их притоками. Основная задача речного транспорта – осуществление северного завоза грузов в Арктические районы, где нет других видов транспорта, а также организация межбассейновых перевозок и работы флота в этом районе с выходом на Северный Морской путь (СМП).

Анализ сложившейся ситуации с северным завозом показывает, что эта задача является комплексной и многовариантной, грузы в регион приходится завозить из многих районов страны, чаще всего на значительные расстояния с обширной номенклатурой, различными видами транспорта и разными видами технических средств на каждом участке общей логистической цепи. При этом в процессе обоснования транспортной схемы следует учитывать не только общие расходы на доставку грузов, но и отпускную цену поставщика, поскольку она может быть неодинакова на один и тот же род груза у разных поставщиков.

В СГУВТе выполнены расчеты по вариантам работы речного транспорта в системе северного завоза грузов, в том числе с использованием СМП. На основе этих расчетов рекомендуются следующие схемы завоза грузов в арктические районы:

– наливные грузы в пункты Обского Заполярья доставляются в танкерах пр.Р-77 и 866. В пункт Харасавей – в танкерах пр.621. Каменный уголь из Омска до Салехарда перевозится в грузовых теплоходах пр.1743, 21-88, 576 с загрузкой 1800 и 2100 т. В пункты Обской губы сухогрузы перевозятся в теплоходах БМ с загрузкой 1000 т, тот же тип флота доставляет грузы в пункты рек Пур и Таз. В обратном направлении флот следует порожнем;

– перевозка грузов в Енисейском Заполярье осуществляется в основном из Красноярска и Лесосибирска для Норильска и на малые реки (налив, лесные, металл, цемент, строительные, промышленные и продовольственные товары). Для работы на магистрали рекомендуются суда пр.1743, 21-88, Р-59, 428, 758М для перевозки сухогрузов, для перевозки налива – пр.1577, Р-77 и 866. На малых реках рекомендуется использовать флот пр.795, 942, 183Б, БНР-200.

Северный завоз грузов в пункты Ленского Заполярья рекомендуется осуществлять по следующей схеме:

– на перевозках сухогрузов на участке Якутск – Быков Мыс целесообразно использовать большегрузные составы с последующей перевалкой в суда «река-море» плавания и частично, с передачей в составы с морским буксировщиком пр.07521;

– перевозки наливных грузов рекомендуется выполнять в судах «река-море» плавания из Якутска до устьев арктических рек (пр.1743, 621, 292);

– по арктическим рекам используются суда и составы пр.866, Р-33+2×562Д, 1721Л+1×565, 1754, Р-96А+1×МН-200, Р-40.

Пароходства Обь-Иртышского бассейна помимо внутренних перевозок начали осваивать перевозки в Обь-Енисейском районе. В 1988 г. здесь перевезено судами пр.1743 140 тыс. т. гравия из Туруханска в Тобольск, Ханты-Мансийск, увеличив в последние годы эти перевозки в 4 раза. Ежегодно танкерный флот Иртыша в этот период доставлял нефтеналивные грузы из Омска на Диксон и Дудинку. Аналогичная обстановка сложилась и в северо-восточных районах, установились стабильные перевозки грузов речным транспортом

из пунктов Лены на реки Яна, Индигирка, Колыма, Оленек, Анабар.

Морской транспорт в силу своего географического положения используется в двух направлениях: первое – транзит грузов из Азиатско-Тихоокеанского региона в страны Европейского континента и обратно по СМП; второе – СМП связывает между собой все северные регионы России и пока является единственным транспортным путем за Полярным кругом, где могут перевозиться грузы в широтном направлении. Крайне важная функция СМП совместно с работой речного транспорта – обеспечение северного завоза грузов в экстремально климатических условиях короткой навигации.

СМП может рассматриваться как реальный транспортный коридор из Европы на Дальний Восток. Протяженность пути в два раза короче альтернативных морских маршрутов. От Санкт-Петербурга до Владивостока по нему 14 тыс. км, такой же маршрут через Суэцкий канал насчитывает 23 тыс. км.

Интерес к СМП в России постоянно менялся. После распада СССР на протяжении 15 лет финансирование Севера фактически полностью прекратилось. Ежегодный объем перевозок по СМП сократился в 5 раз и флот частично работал только в западной части пути. Однако отдельные экспериментальные рейсы морских судов подтверждают экономическую целесообразность его реанимации. Экспериментальный рейс российского транспортного судна «Кандалакша» в 1995 г., выполненный по маршруту порт Иокогама (Япония) – Северный морской путь – порт Киркенес (Норвегия), подтвердил, что зарубежный грузоотправитель, используя СМП в летнюю навигацию, может на 15 суток ускорить доставку груза по сравнению с южным путем через Суэцкий канал и при этом сэкономить на каждом рейсе до 500 тыс. долларов.

В настоящее время в транспортной стратегии России на период до 2030 г. СМП определен в качестве важной и неотъемлемой части Российской транспортной системы. СМП – это единственный и экономически реалистичный путь к природным кладовым Российского Севера, Сибири и Дальнего Востока.

СМП – это сложная океано-речная система и транспортно-технологический комплекс, где речной и морской флот работают во взаимодействии.

Строится порт Сабетта, работают морские порты и причалы в Игарке, Дудинке, на Диксоне, Тикси, оборудуются морские рейды на Северо-Востоке, где речные глубины не позволяют подходить к берегу морским судам, развивается инфраструктура СМП.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспорт Заполярья, северный завоз, флот
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Зачёсов Александр Венедиктович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Дерябина Ирина Сергеевна, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТРИЧНЫХ МЕТОДИК ВЫБОРА ФИНАНСОВОЙ СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЯ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Ю.С. Боровская, А.В. Мукасеев, Е.А. Григорьев

ANALYSIS OF VARIOUS MATRIX METHODS OF SELECTING THE FINANCIAL STRATEGY OF THE ENTERPRISE
Siberian state university of water transport
Ju.S. Borovskaya, A.V. Mukaseev, E.A. Grigoriev

This article tells pupils that the choice of strategy of enterprise is very important. The correct choice of strategy depends on the success of the enterprise.

Keywords: strategy, success, company, advantage, competition

Рассмотрена важная роль выбора стратегии предприятия. От правильного выбора стратегии зависит успех предприятия в целом.

Выбор стратегии можно назвать одной из составляющих успеха деятельности компании. Фирма может оказаться в кризисе, когда не сумеет вовремя предвидеть изменяющиеся обстоятельства и отреагировать на них. Четко сформулированная стратегия важна для развития фирмы и удержания ее конкурентной.

Использование портфельных матриц несет в себе ряд преимуществ, которые делают их

более привлекательными. Они относительно просты в применении и позволяют оценить роль бизнес-областей с точки зрения внешних факторов и внутренних параметров. Ниже представлены несколько самых популярных матричных моделей, их достоинства и недостатки (таблица).

Таблица – Критический анализ матричных методик выбора финансовой стратегии предприятия

Название модели	Основное теоретическое положение модели	Достоинства	Недостатки
Матрица BCG	Матрица создана для анализа актуальности продуктов компании, исходя из их положения на рынке относительно роста рынка данной продукции и занимаемой выделенной для анализа компанией доли на рынке. Данный инструмент теоретически обоснован. В его основу заложены две концепции: жизненный цикл товара и эффекта масштаба производства или кривой обучения [2].	Теоретическая проработка взаимосвязи между финансовыми поступлениями и анализируемыми параметрами. Объективность анализируемых параметров. Наглядность получаемых результатов и простота построения. Позволяет сочетать анализ портфеля с моделью жизненного цикла товара. Легко разработать стратегию для бизнес-единиц и инвестиционную политику.	В модели учитываются только два фактора. Матрица не предполагает определенных стратегий. Не все компании могут использовать ее концепцию. Матрица не отражает основных приоритетов инвестирования. Не учитывается определенная цикличность развития товарных рынков. Матрица теряет смысл, если отсутствует возможность роста.
Матрица General Electric/McKinsey	Метод оценки конкурентных позиций компаний на рынке или портфельный анализ стратегических бизнес-единиц, где выбор стратегических решений для бизнес-позиций и привлекательности отрасли зависит от доли рынка, величины прибыли, ценового положения качества продукции, эффективности сбыта, успеха работы персонала, имиджа.	К преимуществам можно отнести то, что модель позволяет рассматривать динамику второго фактора – привлекательность стратегической зоны бизнеса. Значительно расширен стратегический выбор. Показывает направления инвестирования ресурсов.	Из-за большого количества критериев возникают трудности учета рыночных отношений. Остаются не затронутыми аспекты оптимальной структуры капитала. Модель имеет статичный характер. Рекомендации имеют слишком общий характер, трудно выбрать нужную стратегию из множества вариантов.
Матрица Shell	Матрица Shell имеет сходство с матрицей GE/McKinsey и является развитием идеи позиционирования бизнеса, заложенной в основу BCG. Отличием Shell является допущение о том, что рынок представляет собой олигополию. Также привлекательность отрасли предполагает существование долгосрочного потенциала развития для всех участников рынка, а не только для рассматриваемой компании [1].	Один из основных плюсов модели Shell состоит в том, что она решает проблемы объединения качественных и количественных переменных в единую систему параметров. В отличие от матрицы BCG, она не зависит непосредственно от статистической связи между рыночной долей и прибылью бизнеса.	Выбор переменных для анализа очень условен. Не существует критерия, по которому можно было бы определить, какое число переменных требуется для анализа. Присваивание удельных весов переменным при конструировании шкал матрицы очень затруднено. Трудно сравнивать бизнес-области, относящиеся к разным отраслям, так как переменные сильно привязаны к отрасли.
Модель АДЛ/ЛС	Основное теоретическое положение модели состоит в том, что отдельно взятый вид бизнеса любой корпорации может находиться на одной из стадий жизненного цикла, и, следовательно, его нужно анализировать в соответствии именно с этой стадией.	Проста в применении, более точно указывает направление деятельности фирмы. В основе анализа лежит концепция жизненного цикла отрасли.	Матрица очень схематична и может привести неопытных менеджеров к механическим решениям. Отсутствует методический аппарат в плане разработки финансовой стратегии. Не все области финансовой стратегии затронуты.

Продолжение таблицы

Название модели	Основное теоретическое положение модели	Достоинства	Недостатки
Матрица Франсона и Романе	Матрица финансовых стратегий Франсона и Романе представляет собой стратегическую финансовую модель, использующую в своей основе три основополагающих категории финансового менеджмента: – результат хозяйственной деятельности; – результат финансовой деятельности; – результат финансово-хозяйственной деятельности [3].	Одно из наиболее важных достоинств – возможность генерировать понятную всем стратегическую карту развития компании в области финансов, представляющую собой подробное руководство к действию с возможными вариантами выбора дальнейшего развития. При грамотном использовании матрицы с учетом выявленных недостатков можно сделать серьезный вклад в развитие компании.	Методология матрицы недостаточно проработана, что ограничивает ее функциональные возможности. Методика данной модели не учитывает отраслевой специфики деятельности компании - это снижает достоверность и информативность результатов ее использования в анализе финансового состояния компании.

Предназначение методов портфельного анализа заключается в том, чтобы помочь руководителям компаний оценить свой бизнес, сравнить привлекательность разных областей финансовой деятельности и определить направления движения денежных потоков. Главным недостатком портфельного анализа является то, что используются только данные о текущем состоянии бизнеса, которые, чаще всего, нельзя экстраполировать в будущее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Арутюнова, Д.В. Стратегический менеджмент: учеб. пособие / Д.В. Арутюнова. -Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2010. -122 с.
- 2 Хендерсен, Б.Д. Продуктовый портфель / Б.Д. Хендерсен // Бостонская консалтинговая группа BCG Review: Дайджест. - М: Бостонская консалтинговая группа, 2008. -С. 7-8.
- 3 Финансовый менеджмент и практика / Под ред. Е.С. Стояновой. -М.: Перспектива, 2003. -655 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: стратегия, успех, компания, преимущество, конкуренция
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Боровская Юлия Сергеевна, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Мукасеев Александр Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Григорьев Евгений Алексеевич, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

РАСЧЕТ ОБЪЕМА ПЕРЕГРУЗКИ ГРУЗОВ ПО ПРЯМОМУ ВАРИАНТУ С РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Ю.С. Боровская, В.Ю. Зыкова, В.Н. Попов

CALCULATE THE VOLUME OF TRANSSHIPMENT AS PER DIRECT SCHEME FROM RIVER TO RAIL
 Siberian state university of water transport
 Ju.S. Borovskaya, V.Yu. Zykova, V.N. Popov

Determination of the share of transshipment as per direct scheme and its dependence on the bandwidth of the pier are considered.

Keywords: multimodal transport, a single technological process, river port, transportation hub

Рассматриваются определение доли перевалки грузов по прямому варианту и его зависимость от пропускной способности причала.

Взаимодействие речного и железнодорожного транспорта при организации перевалочных работ – одна из наиболее сложных проблем в перегрузочном процессе. Различие подвижного состава смежного вида транспорта по вместимости, технологии обработки, интервалам прибытия затрудняет согласование работы по организации перегрузки грузов. Но, решать эти сложные задачи необходимо, поскольку простой подвижного состава в транспортных узлах – это большие экономические затраты: снижение производительности транспортных средств, омертвление грузовой массы, порча грузов, просрочка доставки грузов [1].

К оптимизации работы транспортного узла относятся:

– по прямому варианту перегрузки грузов (определение объема перегрузки грузов по прямому варианту, согласование движения речных судов и железнодорожных составов, выбор способа организации прямого варианта);

– определение оптимального времени грузовой обработки речных судов и железнодорожных составов;

– оптимизация завоза/вывоза грузов в перевалочные пункты (транспортные узлы).

В результате того, что речные суда и железнодорожные вагоны поступают в порт неравномерно, то возможность прямого варианта перегрузки грузов из речных судов в железнодорожные вагоны (или в обратном направлении) ограничены. Для обеспечения перегрузки грузов по прямому варианту необходимо соблюдать условия:

– у причала одновременно должны находиться речные суда и железнодорожные вагоны;

– перегрузочные машины должны быть в исправном состоянии;

– должна быть исключена вероятность перегрузки груза на склад для сортировки, взвешивания и других операций. Если не соблюдается хотя бы одного из приведенных условий, производится перегрузка грузов через склад.

Перегрузка груза, прибывающего в порт в речных судах и перегружаемого в железнодорожные вагоны через склады, или минуя их, представлено на рисунке 1.

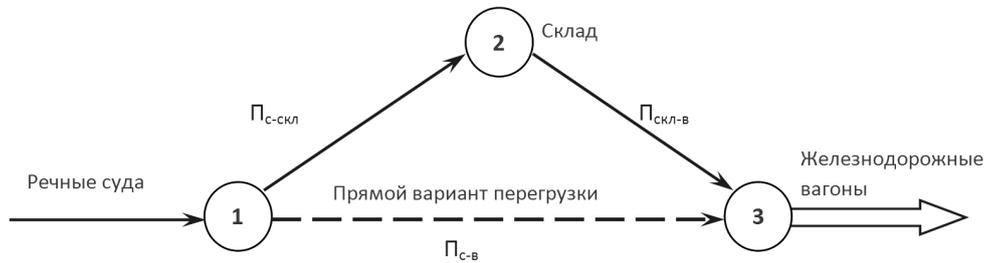


Рисунок 1 – Схема перегрузки груза из речного судна в железнодорожные вагоны

Каждый вариант перегрузки груза характеризуется пропускной способностью причала.

С учетом требований, предъявляемых к обеспечению прямого варианта перегрузки грузов с водного транспорта на железнодорожный, его объем составит

$$G_{с-в} = P_C P_B P_{\Pi} P_M \Pi_{с-в}, \tag{1}$$

где P_C – вероятность наличия речных судов у причала;

P_B – вероятность наличия железнодорожных вагонов у причала;

P_{Π} – вероятность, что не требуется перегрузки груза через склад для взвешивания, сортировки и других операций;

P_M – вероятность безотказной работы перегрузочных установок;

$\Pi_{с-в}$ – пропускная способность причала по варианту судно-вагон.

Вероятность наличия судов у причала

$$P_C = (1 - P_C^0) \left[\frac{G\eta}{\Pi_{с-в}} + \frac{G(1-\eta)}{\Pi_{с-скл}} \right], \tag{2}$$

где P_C^0 – вероятность, что в порт за сутки не прибудет ни одного судна;

η – доля грузопереработки по прямому варианту;

G – суточный объем перегрузки груза с речного транспорта на железнодорожный;

$\Pi_{с-скл}$ – пропускная способность причала по варианту судно-склад.

Вероятность наличия железнодорожных вагонов у причала

$$P_B = (1 - P_B^0) \left[\frac{G\eta}{\Pi_{с-в}} + \frac{G(1-\eta)}{\Pi_{скл-в}} \right], \tag{3}$$

где P_B^0 – вероятность, что в порт за сутки не прибудет ни одной железнодорожной подачи;

$\Pi_{скл-в}$ – пропускная способность причала по варианту склад-вагон.

При Пуассоновском входящем потоке речных судов и железнодорожных вагонов

$$P_C^0 = \exp(-\lambda_C t), \tag{4}$$

$$P_B^0 = \exp(-\lambda_B t), \quad (5)$$

где λ_C – плотность потока подхода речных судов;

λ_B – плотность потока подхода железнодорожных вагонов;

t – рассматриваемый период времени (одни сутки);

Подставляя значения P_C и P_B из (2) и (3) в (1) и имея ввиду, что $G_{C-в} = G\eta$, получим

$$G\eta = [1 - \exp(-\lambda_C t)][1 - \exp(-\lambda_B t)] \left[\frac{G\eta}{P_{C-в}} + \frac{G(1-\eta)}{P_{C-скл}} \right] \left[\frac{G\eta}{P_{C-в}} + \frac{G(1-\eta)}{P_{скл-в}} \right] P_{П} P_{М} P_{C-в}. \quad (6)$$

Обозначим

$$[1 - \exp(-\lambda_C t)][1 - \exp(-\lambda_B t)] P_{П} P_{М} P_{C-в} = P, \quad (7)$$

разделим обе части уравнения (6) на G , тогда

$$\eta = P \left[\frac{\eta}{P_{C-в}} + \frac{(1-\eta)}{P_{C-скл}} \right] \left[\frac{\eta}{P_{C-в}} + \frac{(1-\eta)}{P_{скл-в}} \right], \quad (8)$$

Решив уравнение (8) относительно η , определим объем грузопереработки по прямому варианту

$$\eta = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}, \quad (9)$$

где A, B, C – коэффициенты, значения которых рассчитываются по формулам

$$A = PG(P_{C-скл}P_{скл-в} - P_{C-в}P_{скл-в} - P_{C-в}P_{C-скл} + P_{C-в}^2); \quad (10)$$

$$B = PG(P_{C-в}P_{скл-в} + P_{C-в}P_{C-скл} - 2P_{C-в}^2) - P_{C-в}^2P_{C-скл}P_{скл-в}; \quad (11)$$

$$C = PG P_{C-в}^2, \quad (12)$$

Общий объем груза, который перегружаться по прямому варианту за сутки в тоннах

$$G_{C-в} = \eta G. \quad (13)$$

Через склад будет перегружаться

$$G_{скл-в} = G_{C-скл} = (1-\eta)G. \quad (14)$$

Суммарный объем грузопереработки в порту составит

$$G_{П} = G_{C-в} + G_{C-скл} + G_{скл-в} = \eta G + 2(1-\eta)G = (2-\eta)G. \quad (15)$$

Полученный объем грузопереработки грузов по прямому и складскому вариантам можно использовать при расчете и проектировании склада, планировании потребности в средствах механизации и т.д.

Из выше приведенных формул выводится зависи-

мость доли прямой перевалки груза от пропускной способности причала по варианту судно-вагон. Чем выше пропускная способность, тем выше доля перевалки груза по прямому варианту.

Пропускная способность судно-вагон

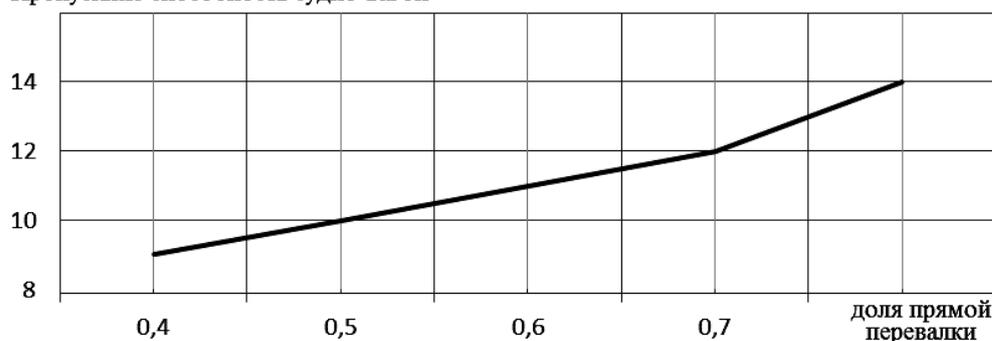


Рисунок 2 – Зависимость прямой перевалки грузов от пропускной способности причала

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Телегина, В.А. Взаимодействие видов транспорта при перевозках грузов: метод. пособие / В.А. Телегина, Н.Н. Тонконогова. -Хабаровск: Изд-во Дальневост. гос. унив. путей сообщ., 2008. -40 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: смешанные перевозки, единый технологический процесс, речной порт, транспортный узел
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Боровская Юлия Сергеевна, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Зыкова Валентина Юрьевна, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Попов Виктор Николаевич, ассистент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ОСОБЕННОСТИ ИСЧИСЛЕНИЯ И БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА НАЛОГА НА ИМУЩЕСТВО ОРГАНИЗАЦИЙ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Ю.С. Боровская, А.В. Мукасеев, Е.А. Григорьев

FEATURES OF CALCULATION AND ACCOUNTING OF THE TAX FOR THE PROPERTY OF ORGANIZATIONS

Siberian state university of water transport

Ju.S. Borovskaya, A.V. Mukaseev, E.A. Grigoriev

The purpose of this article is an overview of the main changes in the property tax.

Keywords: law, amendment, calculus, cost, tax

Выполнен обзор основных изменений в налоге на имущество.

2 ноября 2013 года Президентом РФ был подписан Федеральный закон №307-ФЗ «О внесении изменений в статью 12 части первой и главу 30 части второй Налогового кодекса Российской Федерации» (далее – Закон).

Данный документ предусматривает, что с 1 января 2014 года налоговая база по налогу на имущество организаций в отношении ряда объектов будет определяться исходя из их кадастровой стоимости, а не балансовой, как ранее. В отношении прочего имущества налоговая база будет определяться по-прежнему как среднегодовая стоимость имущества, признаваемого объектом налогообложения.

В настоящее время, тема актуальна, потому что закон несет изменения в объектах налогообложения и серьезные поправки в расчетах налога на имущество.

Целью статьи является обзор основных изменений в налоге на имущество, связанных со вступлением в силу закона №307-ФЗ.

В ходе работы были поставлены следующие задачи:

- познакомиться с объектами налогообложения;
- определить порядок исчисления;
- раскрыть полномочия субъектов РФ;
- рассмотреть оспаривание кадастровой стоимости.

Для выполнения работы применялись общенаучные методы исследования: системные, аналитические.

Хотелось бы отметить, что налог на имущество относится к региональным налогам и представляет собой стабильный источник дохода региональных бюджетов. Порядку обложения налогом на имущество посвящена 30 глава Налогового кодекса РФ.

Статья 374 Налогового кодекса РФ устанавливает, какое имущество признается объектом налогообложения налогом на имущество.

Налогом на имущество облагается движимое имущество и недвижимое имущество, либо только недвижимое имущество, в зависимости от категории налогоплательщика.

Рассмотрим порядок исчисления налога. Налог будет рассчитываться как произведение кадастровой стоимости недвижимого имущества на 1 января налогового периода и ставки налога. Законом установлены предельные значения ставок налога: 2014 год: Москва – 1,5%, иные субъекты РФ – 1,05%; 2015 год: Москва – 1,7%, иные субъекты РФ – 1,5%; 2016 год и далее: Москва – 2,0%, иные субъекты РФ – 2,0%.

Сумма налога исчисляется по итогам налогового периода (статья 382 НК РФ):

$$\text{Сумма налога} = \text{Ставка налога} \times \text{Налоговая база} .$$

Сумма налога, подлежащая уплате в бюджет по итогам налогового периода [1]

$$\text{Сумма налога} = \text{Ставка налога} \times \text{Налоговая база} - \text{Сумма авансовых платежей} .$$

Сумма налога, подлежащая уплате в бюджет, исчисляется отдельно в отношении имущества, подлежащего налогообложению по местонахождению организации (месту постановки на учет в налоговых органах постоянного представительства иностранной организации), в отношении имущества каждого обособленного подразделения организации, имеющего отдельный баланс, в отношении каждого объекта недвижимого имущества, находящегося вне местонахождения организации, обособленного подразделения организации, имеющего отдельный баланс, или постоянного представительства иностранной организации, в отноше-

нии имущества, входящего в состав Единой системы газоснабжения, а также в отношении имущества, облагаемого по разным налоговым ставкам [2].

Для того чтобы новый порядок вступил в действие, органы власти субъекта РФ должны утвердить в установленном порядке результаты определения кадастровой стоимости объектов недвижимого имущества, а затем принять закон, устанавливающий особенности определения налоговой базы по данному имуществу (в том числе виды объектов, облагаемых по новым правилам, а также ставки налога).

В заключение, хотелось бы отметить, что очевидно, изменения приведут к повышению расходов собственников перечисленных выше объектов на налог на имущество и возможному росту арендных ставок для арендаторов. В случае несогласия с установленной кадастровой стоимостью собственники недвижимости могут ее оспорить как в досудебном, так и в судебном порядке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Налог на имущество организаций. -Режим доступа: <http://www.nalog.ru/rn70/taxation/taxes/imuchorg/>. -01.04.2014.
- 2 Налог на имущество. Изменений с 2014 года. -Режим доступа: <http://ecoplus-buh.ru/налог-на-имущество-изменения-с-2014-года>. -25.04.2014.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: закон, поправка, исчисление, стоимость, налог
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Боровская Юлия Сергеевна, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Мукасеев Александр Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Григорьев Евгений Алексеевич, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЮРВЕЙЕРСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ФЛОТА ПРИ ПОГРУЗКЕ И ВЫГРУЗКЕ ГРУЗОВЫХ ПАРТИЙ В ПОРТАХ

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

В.В. Тарасов, О.В. Тарасов

THE SIMULATION OF SURVEYER SERVICE OF THE FLEET AT LOADING AND UNLOADING CARGO PARTY IN PORTS
Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
V.V. Tarasov, O.V. Tarasov

The proposed model of the interaction system for all participants in the ship's processing process in the port allows one to analyze the effects of the elements of the system on each other, identify its current statuses and, ultimately, to identify possible ways for the emergence of commercial marriage and responsible participants for the appearance of this marriage before the ship's handling is completed and thereby avoid possible, in the future, damages for the carriage of goods. The aspects of mathematical modeling of survey services for the preparation and transshipment of cargo flows in seaports are outlined.

Keywords: survey services for traffic flows, queuing system, simulation of nonmarkov processes, levels of abstraction and expression

Предложенная модель системы взаимодействия всех участников процесса обработки судна в порту позволяет проанализировать воздействия элементов системы друг на друга, обозначить ее текущие состояния и, в итоге, определить возможные пути возникновения коммерческого брака и ответственных участников за появление этого брака до окончания обработки судна и тем самым избежать возможных, в дальнейшем, убытков при перевозке груза. Намечены аспекты математического моделирования сюрвейерского обслуживания подготовки и перевалки грузопотоков в морских портах.

Рассмотрим модель системы «Сюрвейер-Клиент-Объект-Среда-Участники обработки судна в порту» (СКОСУ) (рисунок). При этом элемент «участники» выделяются в отдельную подсистему. Это позволяет учесть влияние элементов, входящих в данную подсистему, на уровень качественной обработки судна и, используя системный подход, описать параметры подсистем СКОСУ, необходимые для анализа организации обработки судна и оценки их влияния на переход системы в то или иное состояние в процессе взаимодействия всех участников [3].

В предлагаемой модели системы главный элемент «сюрвейер» (инспектор) организует и управляет исследуемым процессом проведения инспекции – контролем погрузки «объекта», в нашем случае это «груз», со всеми вытекающими отсюда обстоятельствами взаимодействия со всеми элементами системы. Сюрвейер, как главный элемент СКОСУ, обладает информацией по объекту инспекции и получает часть необходимой оперативной информации от администраций, агентов, владельцев груза и заказчика, клиента [1, 2].

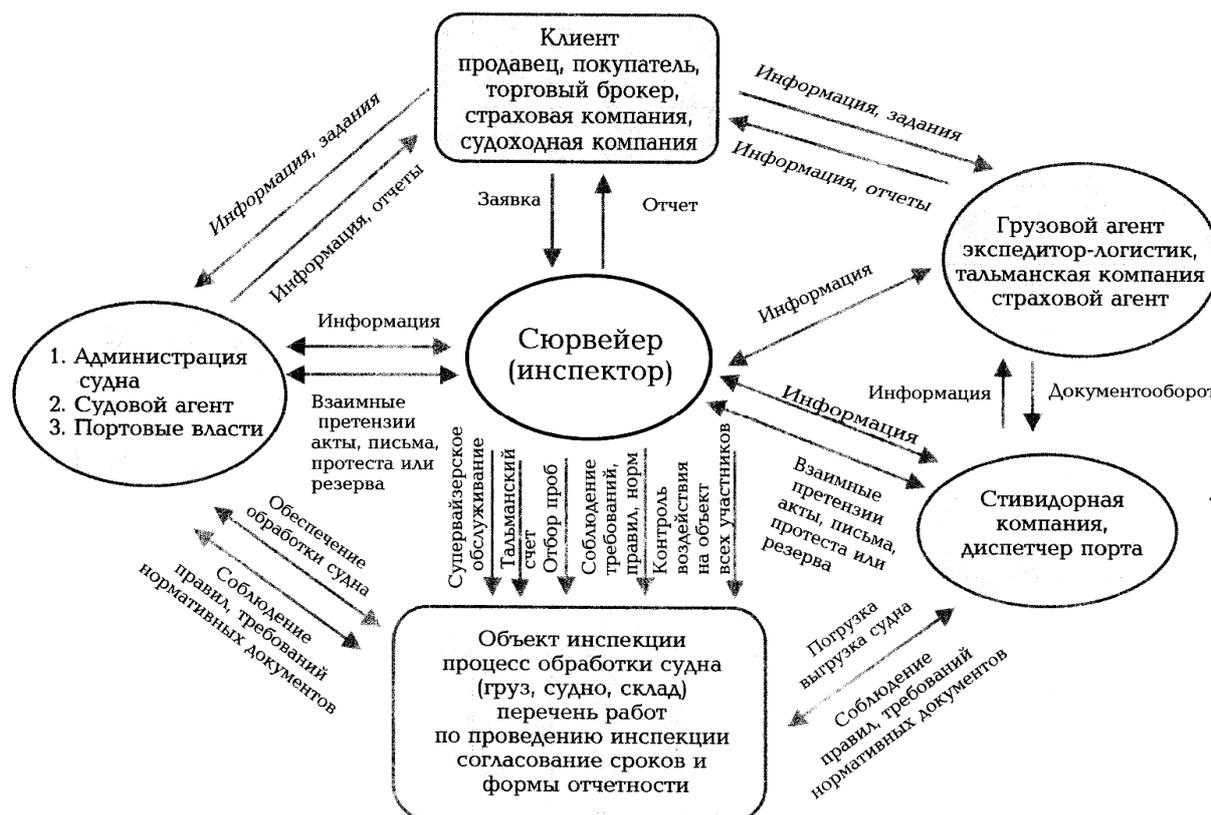


Рисунок – Модель системы СКОСУ

Объектом инспекции часто является «груз» или другой объект, например: судно, склад, причал и так далее. Руководствуясь информацией, сюрвейер выбирает способ управляющего воздействия на подсистему – инспекция погрузки груза, осуществляя постоянный контроль за результатами своих управляющих воздействий. Сюрвейер является главным элементом системы СКОСУ, так как он при возникновении предвидимых или непредвидимых ситуаций, возникающих при обработке судна в порту от воздействия на процесс погрузки других участников системы, может воспользоваться своим опытом, знаниями и полномочиями и предотвратить рассогласование в действиях смежников, то есть удержать функционирование системы в нормальном стабильном состоянии для правильной и безопасной погрузки груза, то есть предотвратить переход системы в неконтролируемое нестабильное состояние. В дальнейшем эти правильные активные воздействия сюрвейера на систему, в период обработки судна, избавят участников системы от коммерческих убытков. Другие подсистемы СКОСУ в виде «участников» либо не могут гибко и быстро влиять на изменения состояния системы, либо не обладают достаточной квалификацией для этого или элементарно не желают добровольно осуществлять действия для сохранения стабильного состояния системы, а в случае рассогласования и нестабильного состояния системы, быстро и без потерь качества погрузки судна, не обладают временем привести систему в стабильное состояние.

Подсистема «среда» и ее свойства, в которую включены все технические элементы: погрузочная техника и перегрузочное оборудование (их влияние на состояние груза в процессе погрузки груза); трюма судна и их состояние; техническое состояние причала, где формируется грузовые подъемы и взаимодействие техники на причале и другое, является управляемой подсистемой СКОСУ. К параметрам, характеризующим данную подсистему, относятся факторы учитывающие состояние элементов и объектов, например для трюмов – это их чистота перед погрузкой [2, 5-7].

Подсистема «участники» является активной составляющей СКОСУ, так как оказывает непосредственное влияние на элементы подсистем объект, сюрвейер, среда. К этой подсистеме относятся: стивидорная компания, администрация судна, администрация и диспетчерская порта, судовой агент, грузовой агент, портовые власти, страховой агент, представитель владельца груза, тальманская компания, отборщики проб, представители лаборатории.

Неудовлетворительное выполнение своих функций или отказ в квалифицированной об-

работке судна хотя бы одним из элементов системы СКОСУ неизбежно приводит к опасной обстановке, что может в дальнейшем привести к коммерческому браку, ведомственным расследованиям и штрафам к участникам обработки судна в порту [2, 4].

В зависимости от исследуемых обстоятельств, возникающих при обработке судна, адекватности и своевременности действий сюрвейера и элементов подсистемы «другие участники» система СКОСУ может находиться в одном из четырех состояний – стабильное, опасное, аварийное и послеаварийное. Каждое текущее состояние системы является логическим продолжением предыдущего и в свою очередь предопределяет переход в последующее состояние.

Стабильное состояние характеризуется тем, что сюрвейер исследуемого процесса обработки судна вовремя и квалифицированно реагирует на состояние других элементов системы СКОСУ, а другие элементы системы – на действия, как смежных элементов, так и на действия сюрвейера, обнаружившего неправильные действия какого – либо элемента - участника системы. Таким образом:

$f_s(K_s, O, C, Y/S)$ – реакция сюрвейера на состояние элементов системы СКОСУ;

$F_s(K_s, O, C, Y/S)$ – множество возможных верных решений реакций сюрвейера;

$f_{yi}(K_{yi}, O, C, Y/Y_i)$ – реакция i -го участника обработки судна на состояние элементов системы СКОСУ;

$$i = 1, N,$$

N – число или количество участников обработки судна, взаимодействующих с элементом системы «сюрвейер»;

$F_{yi}(K_{yi}, O, C, Y/Y_i)$ – множество возможных верных реакций i -го участника обработки судна;

Y_i – i -й участник обработки судна;

Y/Y_i – все участники обработки судна кроме i -го;

Y/S – все участники обработки судна кроме сюрвейера.

Тогда система СКОСУ находится в стабильном состоянии, если

$$\begin{cases} f_s(K_s, O, C, Y/S) = F_s(K_s, O, C, Y/S); \\ f_{yi}(K_{yi}, O, C, Y/Y_i) = F_{yi}(K_{yi}, O, C, Y/Y_i). \end{cases}$$

Опасное состояние системы характеризуется тем, что хотя бы один активный элемент системы неадекватно реагирует на состояние других элементов системы (то есть, если сюрвейер исследуемого транспортного процесса погрузки судна неверно реагирует на состояние других элементов системы СКОСУ, и/или другие элементы системы СКОСУ – на состояние элемента «сюрвейер», однако у одного и /или нескольких элементов системы есть время для перевода системы в стабильное неопасное состояние. Если состояние системы СКОСУ опасное, то участники обработки судна должны немедленно принимать все имеющиеся в их распоряжении меры для предотвращения возможных коммерческих браков впоследствии и снижении тяжести последствий нарушения технологии обработки судна и возможных конструктивных повреждений или судна или груза. Таким образом, система СКОСУ находится в опасном состоянии, если

$$\begin{cases} f_s(K_s, O, C, Y/S) \neq F_s(K_s, O, C, Y/S); \\ f_{yi}(K_{yi}, O, C, Y/Y_i) = F_{yi}(K_{yi}, O, C, Y/Y_i); \\ f_s(K_s, O, C, Y/S) = F_s(K_s, O, C, Y/S); \\ f_{yi}(K_{yi}, O, C, Y/Y_i) \neq F_{yi}(K_{yi}, O, C, Y/Y_i); \\ f_s(K_s, O, C, Y/S) \neq F_s(K_s, O, C, Y/S); \\ f_{yi}(K_{yi}, O, C, Y/Y_i) \neq F_{yi}(K_{yi}, O, C, Y/Y_i), \end{cases}$$

при выполнении хотя бы одного условия из группы

$$\begin{cases} t_{pyi} \leq t'_{pyi}; \\ t_{ps} \leq t'_{ps}, \end{cases}$$

где t_{ps} – время, имеющееся у сюрвейера для перевода системы в стабильное состояние;

- t_{py} – время, имеющееся у другого участника обработки судна для перевода системы в стабильное состояние;
- t'_{ps} – время, необходимое сюрвейеру для перевода системы в стабильное состояние;
- t'_{py} – время, необходимое другому участнику обработки судна для перевода системы в стабильное состояние.

В опасной ситуации при обработке судна, это может быть нарушение технологии обработки судна, правил охраны труда, противопожарных норм среды погрузки, не выполнения норм погрузки и так далее, существует возможность получения травм персоналом и повреждения конструкций машин и механизмов и вероятность возникновения коммерческих браков и в последствии штрафных санкций, но участники системы могут это предотвратить. То есть из опасного состояния система СКОСУ может либо вернуться в стабильное состояние, либо перейти в аварийное состояние. Для перехода системы в стабильное состояние необходимо, чтобы сюрвейер или другой участник обработки судна должным образом воздействовал на систему согласно [1, 3, 4].

Если меры не приняты или оказались не достаточно эффективными, то в процессе нарушений процессов обработки судна система из опасного состояния переходит в аварийное состояние. Аварийной называется такая ситуация, при которой участники обработки судна уже не располагают организационной и технической возможностью предотвратить возникшие нарушения технологии и правил погрузки судна и последнее становится неизбежным.

Система СКОСУ переходит в аварийное состояние тогда, когда время, имеющееся для перевода системы в стабильное состояние у сюрвейера t_{ps} и другого участника обработки судна t_{py} становится больше, чем время, требуемое для перевода системы в стабильное состояние (t'_{ps} или t'_{py} соответственно). При этом не важна адекватность действий сюрвейера исследуемого процесса обработки судна или другого участника системы текущему состоянию других элементов СКОСУ. Таким образом, условиями перехода системы из опасного состояния в аварийное является следующее выражение

$$\begin{cases} t_{pyi} > t'_{pyi}; \\ t_{ps} > t'_{ps}. \end{cases}$$

Послеаварийное состояние системы СКОСУ является новым стабильным состоянием системы, то есть

$$\begin{cases} f'_s(K_s, O, C, Y/S) = F'_s(K_s, O, C, Y/S); \\ f'_{yi}(K_{yi}, O, C, Y/Y_i) = F'_{yi}(K_{yi}, O, C, Y/Y_i), \end{cases}$$

где $f'_s(K_s, O, C, Y/S)$ – реакция сюрвейера на послеаварийное состояние элементов системы СКОСУ;

$F'_s(K_s, O, C, Y/S)$ – множество возможных верных реакций сюрвейера на послеаварийное состояние элементов системы СКОСУ;

$f'_{yi}(K_{yi}, O, C, Y/Y_i)$ – реакция i -го участника обработки судна на послеаварийное состояние элементов системы СКОСУ;

$F'_{yi}(K_{yi}, O, C, Y/Y_i)$ – множество возможных верных реакций i -го участника обработки судна на послеаварийное состояние системы СКОСУ.

Чем более полнее и достовернее информация, характеризующая каждое состояние системы СКОСУ, тем более объективно и всесторонне могут быть изучены причины и детальнее воспроизведен механизм протекания нарушений дестабилизирующих оптимальное взаимодействие всех элементов системы в процессе обработки судна в порту, направленное на доставку груза клиента по назначению без коммерческого брака.

Процессы обработки различных грузов в морском порту можно рассматривать как определенные организационные системы, которые можно представлять и, соответственно, описывать с позиций систем массового обслуживания (МО) с циклической дисциплиной прохождения заявок. Такие системы возникают в различных бизнес-процессах управления и оптимизации в технологических линиях в работе любого порта, в частности, для последнего – бизнес-процессы подготовки грузовых партий, профессионального подхода к составлению грузового плана, осмотра грузовых помещений судна и возможные дополнительные меры по

снижению коммерческого брака при морской транспортировке груза и так далее. Также определенные выше систем МО используются для описания вычислительных систем и решения проблем распределения и коллективного доступа к вычислительным ресурсам.

Качественная грузопереработка в морских портах признана приоритетным направлением развития транспортных комплексов во всем мире. В настоящее время и в Российской Федерации начали реализовываться национальные проекты по строительству мощных портовых комплексов начиная с Балтийского моря и заканчивая морями Дальнего Востока, в рамках которых запланированы многочисленные мероприятия, призванные усовершенствовать и модернизировать сферу транспортного обеспечения внешней торговли.

Решающую роль в снижении стоимости транспортного обслуживания при сохранении его качества и повышении эффективности играют информационные технологии. По оценкам Международной морской организации (ИМО), к 2018 году около 7,5% национальных бюджетов европейских государств будет вложено в системы и услуги транспортного обеспечения грузопотоков в морских портах.

Информационные технологии в настоящее время успешно интегрируются в большинстве сфер человеческой деятельности, они сочетают в себе четкий математический аппарат и стохастическую природу определяемых бизнес-процессов, так как исключение вероятностной составляющей, приводит к идеализации систем. То есть, становится актуальным создание математических моделей на основе теории вероятностей, теории динамических потоков и, в частности, систем МО. Причем, рассматривая идеализацию систем, через призму теории динамических потоков, получается четкое разделение систем МО, описывающих марковские и немарковские процессы. То есть можно абсолютно точно утверждать, что марковский процесс – это определенная идеализация параметров систем, а в целом система МО описывается немарковскими процессами.

Грузопереработка в портах – активное динамическое наблюдение за концентрацией и состоянием грузовых партий, включающее комплекс профилактических, диагностических и других мероприятий направленных на сохранность грузов, своевременное накопление грузовых судовых партий и их документарное оформление в соответствующих разрешительных учреждениях, которые являются необходимой частью транспортного процесса в международной торговле. Целью этих процессов является формирование, сохранение и укрепление тары и контроль за маркировкой грузовых мест, необходимые мероприятия за устранением выявленных недостатков для устранения коммерческого брака при морских перевозках. Оптимальная грузопереработка в портах входит в качестве составной части в широкую систему мер по улучшению показателей внешнеэкономических отношений, увеличивающийся поток инвестиций в портовые комплексы, осуществляемых государством, министерством транспорта РФ и агентством речного и морского транспорта. На эти цели в госбюжете предусматривается выделение сотен миллиардов рублей.

Таким образом, возникает задача качественной и оптимальной организации процесса переработки грузов в портах. Качественная характеристика работы порта включает в себя не только высокую квалификацию персонала, но и качество грузовых работ: высокую пропускную способность портов, минимальное время ожидания для судов, минимальные простои высококвалифицированного персонала и другие показатели. Количественные характеристики процесса организации грузопереработки на различных грузоперерабатывающих комплексах определяются интенсивностями потоков различных грузов, временем погрузки/выгрузки грузов и временем комплексной обработки судов специалистами подразделений порта и учреждений внешнеэкономической деятельности.

Данная задача принадлежит к классу задач с циклической дисциплиной прохождения и не нашла достаточно полного отражения в существующих подходах к анализу систем массового обслуживания.

В данной работе предлагается разработка математических моделей систем МО с циклической дисциплиной прохождения заявок на подготовку грузов к перевалке, подготовку грузовых помещений, систем сохранности грузов, соответствующих имитационных моделей возникающих в многообразии процессов обслуживания судов в порту, с целью проведения вычислительных экспериментов, их анализа и создания программного комплекса для принятия управленческих решений в соответствующих организационных системах.

Для достижения поставленной цели предполагается осуществление следующих основных задач:

– Обзор и анализ существующих математических методов, применяемых для описания

немарковских процессов.

– Анализ существующих программных реализаций информационных технологий бизнес-процессов для процессов комплексного обслуживания судов в портах.

– Разработка математических моделей систем МО с циклической дисциплиной происхождения заявок, описывающих различную степень детализации процесса с введением вертикали уровней абстракции.

– Разработка имитационных моделей с целью проверки адекватности предложенных математических моделей и анализа принятия управленческих решений.

– Разработка имитационной модели систем МО с циклической дисциплиной происхождения заявок.

– Создание программного комплекса определения характеристик и маршрутизации систем МО с циклической дисциплиной происхождения заявок и, как следствие, для функционирования бизнес-процессов подготовки грузовых партий, профессионального осмотра грузовых помещений и дополнительных мероприятий по исключению коммерческого брака при морской транспортировке грузов, обеспечивающего формирование управленческих решений и рациональное использование ресурсов перегрузочных комплексов.

Для решения поставленных задач и достижения намеченной цели использованы методы теории вероятностей и математической статистики, операционного и функционального анализа, объектно-ориентированного программирования и имитационного моделирования в среде «AnyLogic».

Таким образом, определены основные направления моделирования:

– математические модели системы МО с циклической дисциплиной прохождения трех уровней детализации подготовки грузовой партии к перевалке в морском порту;

– математический метод «виртуальных очередей» к оформлению грузовой партии к перевалке в порту;

– имитационная модель маршрутизации документооборота при оформлении грузовой партии при подготовке к грузовым операциям;

– комплекс программ, обеспечивающий формирование управленческих решений и рациональное использование ресурсов при проведении формирования грузовых партий, оформления грузовых документов, контроль над подготовкой грузовых помещений судов и дополнительных мероприятий в процессе грузовых операций для устранения коммерческого брака при морской транспортировке.

Для реализации поставленных задач и оптимизации сюрвейерского обслуживания грузовых партий при обработке судов в морских портах необходимо проанализировать существующие математические модели с различной степенью абстракций, описывающие этапы процесса подготовки грузовых партий к грузовым операциям, сюрвейерского обслуживания обработки флота и включающие:

– метод рекуррентного переноса нагрузки разрезов – стратегический уровень абстракции;

– метод матриц преобразований Лапласа от плотностей распределений входного и обслуженного потоков – тактический уровень абстракции;

– интегральный метод расчета вероятностей отказа систем МО – оперативный уровень абстракции.

Все выше обозначенное ставит задачу по разработке имитационной модели системы МО с циклической дисциплиной прохождения заявок в среде «AnyLogic» с целью установления адекватности предложенных математических моделей, и как результат анализа имитационных экспериментов – определение метода «виртуальных очередей», препятствующий вырождению системы в последовательную.

Разработку диаграммы потоков данных для компьютерной системы, формирующей систему МО с циклической дисциплиной прохождения заявок, с целью определения функциональных характеристик системы и маршрутизации заявок при подготовке грузовых партий к погрузке и дальнейшую оптимальную обработку судна в морском порту.

Обзор и анализ существующих математических методов описания немарковских процессов показывает, что они состоят из:

– Системы физических состояний – система дифференциальных уравнений (динамическое состояние), система алгебраических уравнений (стационарное состояние).

– Метода вероятностных графов – описание параллельно-последовательных и простейших мостиковых вероятностных графов.

– Использование преобразования Лапласа – правило «свертки» для установления зависимостей между характеристиками процессов.

– Использование аппроксимации приближений – замена различных типов вероятностных распределений показательным распределением.

Также проводится обзор, и анализ существующих информационных технологий и программных реализаций для улучшения технологических процессов переработки грузопотоков в морских портах, предлагаемых отечественными и иностранными разработчиками.

Для совершенствования и развития морской транспортной составляющей международной торговли в настоящее время используются различные методы и технологии. Применение вычислительной техники и информационных технологий помогает решить проблему эффективного использования мощных концептуальных, математических и технических средств, с целью системной реорганизации материальных, финансовых и информационных потоков, перераспределения и максимального использования различных ресурсов, ориентации на потребности грузовладельцев, грузоотправителей, страхователей и других клиентов морских портов, с целью повышения качества их обслуживания. Таким образом, речь идет об использовании совершенно новых подходов, основанных на последних достижениях информационных технологий.

Автором был проведен анализ программного обеспечения для оптимизации переработки грузов в морских портах. Всеми разработчиками предлагаются как различные независимые модули, так и некоторые комплексные решения на их основе. Поскольку существует определенная нормативная документация, описывающая структуру и формат данных, подлежащих хранению, то идет речь о создании единого информационного пространства различных служб территориальных подразделений обслуживающих работу портов. Но из-за унификации данных, программные реализации различных разработчиков, по сути, эквивалентны и различаются лишь формой реализации и особенностями интерфейса.

По инструкции каждая грузовая партия, прибывающая в пункт перевалки с одного вида транспорта на другой, должна быть обследуема, осмотрена и просчитана:

– количество груза определяется тальманами порта, приемосдатчиками железной дороги (принимавшей и сдающей стороной);

– проверка, идентификация (соответствие) груза грузовым документам;

– качество груза, соответствие грузовым документам, сертификатам;

– состояние тары, упаковки требованиям транспортного процесса;

– состояние маркировки на всех грузовых местах;

– отбор проб и анализ в соответствии с контрактом или ГОСТ (навалочные грузы);

– отбор проб и анализы в соответствии с требованиями карантинных властей для пищевых грузов.

Кроме того, грузовым агентом каждый обследуемый вид груза должен быть оформлен в соответствующих организациях обслуживающих транспортный процесс в определенной последовательности для получения разрешения для погрузки или выгрузки, пресечения границы и других формальностей. Причем, последовательность прохождения не регламентируется. Таким образом, грузовая партия может проходить оформление в специальных учреждениях портового комплекса в любом порядке. Все эти специальные требования накладывают специфические особенности при математическом моделировании сюрвейерского обслуживания различных грузопотоков в морских портах и ставят задачи оптимизации работы технологических линий для соответствия научных исследований с результатами практической работы портов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Снопков, В.И. Руководство по проведению сюрвейерских работ на транспорте: учеб. пособие / В.И. Снопков. 2-е изд., испр. и доп. -СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2005. -656 с.

2 Общие и специальные правила перевозки грузов 4-М. -М.: Транспорт, 1985.

3 Клебельсберг, Д. Транспортная психология: пер. с нем./ Д. Клебельсберг; Под ред. В.Б. Мазуркевича. -М.: Транспорт, 1989. -366 с.

4 Кодекс независимых сюрвейеров. -СПб.: АНС, 2000.

5 Снопков, В.И. Технология перевозки грузов морем / В.И. Снопков. -СПб.: Мир и Семья, 2001.

6 Холодов, А.Ю. Имитационная модель профессионального осмотра для анализа адекватности математической модели систем обслуживания с эйлеровскими циклами / А.Ю. Холодов // -Системный анализ и управление в биомедицинских системах. -2006. -№4(5). -С. 794-796.

7 Холодов, А.Ю. Метод вероятностных графов для систем массового обслуживания (СМО) с циклической дисциплиной обслуживания / А.Ю. Холодов // -Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. -2006. -№8(21). -С. 373-378.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сюрвейерское обслуживание транспортных потоков, система массового обслуживания, моделирование немарковских процессов, уровни абстракций и их выражение
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Тарасов Валерий Васильевич, профессор ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
Тарасов Олег Валериевич, курсант ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ЗАПОРНО-ПЛОМБИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВОГО ТИПА ДЛЯ ОПЛОМБИРОВАНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

В.В. Тарасов, А.В. Машкина

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF LOCKABLE-SEALING DEVICES FOR MULTI-USING TIMES OF A NEW TYPE FOR SEALING OF THE CARGO ROOM

Maritime state university named after G.I. Nevelskoi
V.V. Tarasov, A.V. Mashkina

In the article the existing sealing and locking-sealing devices are examined, their properties are analyzed. Lockable-sealing devices of reusable times have been proposed for using, which were used as experiments to seal containers and lighters on ships of the shipping company. Their advantages and application area are shown.

Keywords: sealing devices, locking and sealing devices, sealing devices for reusable use, lighter, container

Рассмотрены существующие пломбирующие и запорно-пломбирующие устройства, проведен анализ их свойств. Предложены к использованию запорно-пломбирующие устройства многоразового использования, которые в порядке эксперимента применялись для пломбирования контейнеров и лихтеров на судах Дальневосточного пароходства. Показаны их преимущества и область применения.

В производственной деятельности многих предприятий для обеспечения сохранности материально-технических ценностей применяются различные устройства [3-5], которые предохраняют от несанкционированного проникновения в помещения, где эти ценности находятся. Существует несколько классов таких устройств [4]:

– замки, которые отличаются сложностью изготовления, наличием специального комплекта приспособлений – ключей для открывания и запираания, из-за этого имеют большую стоимость и, как все устройства, при несанкционированном проникновении в помещение могут быть повреждены или даже похищены;

– пломбирующие устройства (ПУ), которые изготавливаются, в основном, в виде круглых свинцовых пломб. Для их использования применяется специальный пломбиратор (пломбир) с оригинальным для предприятия оттиском, который обозначается на пломбе при пломбировании и тем самым идентифицирует установленную пломбу, как пломбу данного предприятия. Для использования этого устройства необходима специальная отожженная проволока, оформленная в скрутку, а на двери, на входе в помещение, должны быть проушины с отверстиями для заводки проволоочной скрутки в них специальным способом. После фиксирования скруткой проушин, в непосредственной близости от них, по специальной технологии, эта же проволоочная скрутка заводится во внутренние отверстия свинцовой пломбы, которая затем сжимается пломбиратором с усилием необходимым для получения на внешних поверхностях пломбы отчетливых оттисков. Применяются такие ПУ в основном на предприятиях, где помещения находятся на закрытой и по возможности на охраняемой территории. К недостаткам таких ПУ относится то, что их применение является одноразовым и после использования необходима утилизация ПУ. Также нужны определенные навыки у персонала для квалифицированной опломбировки, и требуется время для выполнения процедуры пломбирования;

– запорно-пломбирующие устройства (ЗПУ) одноразового использования, которые отличаются своими хорошими прочностными характеристиками и чрезвычайно трудны для удаления при распломбировании, так как для этого необходимо применить специальное устройство с большим усилием для разрезания запорного штыря из высокопрочной стали [1, 2];

– ЗПУ многоразового использования (МИ), которые можно с успехом применять для

предотвращения несанкционированного проникновения в места, где находятся материально-технические ценности с целью их надлежащего сохранения [1, 2]. Такие ЗПУ имеют преимущества в использовании, так как они многоразового использования – все прочностные части выполнены из твердых металлов, а разрушаемая при вскрытии сургучная пластина выполнена из затвердевающей в процессе опломбировки пластичной массы, которая также имеет идентифицируемые отпечатки. Пластинчатую массу с отпечатком можно наносить на штатное место ЗПУ заранее до опломбирования помещения, поэтому сам процесс опломбирования занимает минимум времени. Таким образом, расходным материалом в предлагаемом ЗПУ МИ является только пластичная масса (например: сургуч, применяемый на почте для опломбировки почтовых отправлений и посылок). Все остальные компоненты изготовлены из металла и могут прослужить длительное время, что позволяет получить приличный экономический эффект при использовании ЗПУ МИ

Разработанные авторами и приведенные в данной статье ЗПУ МИ [1, 2], в порядке эксперимента, применялись для опломбирования грузовых помещений – лихтеров лихтеровоза «Алексей Косыгин» Дальневосточного морского пароходства при перевозках народнохозяйственных грузов в районы крайнего Севера и Арктики и в порты Арктики, принадлежавшие Министерству транспорта и в порты-корреспонденты ведомственной принадлежности других министерств. Так как грузы в лихтерах доставлялись в обезличенном состоянии (лихтеровоз становился на якорь вблизи порта и лихтера с грузом до порта доставлялись буксирами), поэтому возрастала роль качественного и прочного ЗПУ, желательно многоразового использования, с возможностью быстрого опломбирования и распломбирования, особенно это касалось портов-корреспондентов, где наблюдался дефицит качественного персонала [4, 5]. Также, применяемые ЗПУ МИ положительно зарекомендовали себя при морской перевозке грузов, как в лихтерах, так и в контейнерах на контейнерной линии Владивосток - Петропавловск-Камчатский. На дверях контейнеров и крышках лихтеров ЗПУ МИ устанавливались совместно с рекомендованными «Общими и специальными правилами морской перевозки грузов М-4», пломбировочными и ЗПУ одноразового использования, для исследования работы ЗПУ МИ с целью внедрения и легализации при морской перевозке грузов в грузовых помещениях различных видов судов.

Рассмотрим особенности конструкции двух ЗПУ МИ по авторским свидетельствам [1, 2].

ЗПУ МИ позволяет улучшить технологичность, удобство пользования и компактность пломбирующего устройства (рисунок 1).

Целью разработки такого ЗПУ МИ является улучшение технологичности и удобства пользования и компактности.

Пломбирующее устройство содержит корпус 1 с отверстием 2 и площадкой 3 на торце под опечатывающую мастику, размещенный в отверстии корпуса стержень 4 с головкой 5 и фиксатор, включающий подпружиненный шток 6 с буртиком выполненное, в одной из деталей ступенчатое отверстие 7 для размещения штока 6, расположенную в ступенчатом отверстии 7 заглушку 8 и выполненную на другой детали винтовую канавку 9, имеющую неполный виток и уменьшающуюся до нуля глубину для взаимодействия со штоком. Устройство снабжено установленным в корпусе со стороны площадки под опечатывающую мастику стопорным винтом 10. Винтовая канавка 9 выполнена на стержне, а ступенчатое отверстие – в корпусе.

В заглушке 8 выполнено углубление 11 для взаимодействия со стопорным винтом 10, а на стержне напротив наибольшей глубины - винтовой канавки – скос 12 для взаимодействия со штоком 6. На стержень и корпус нане-

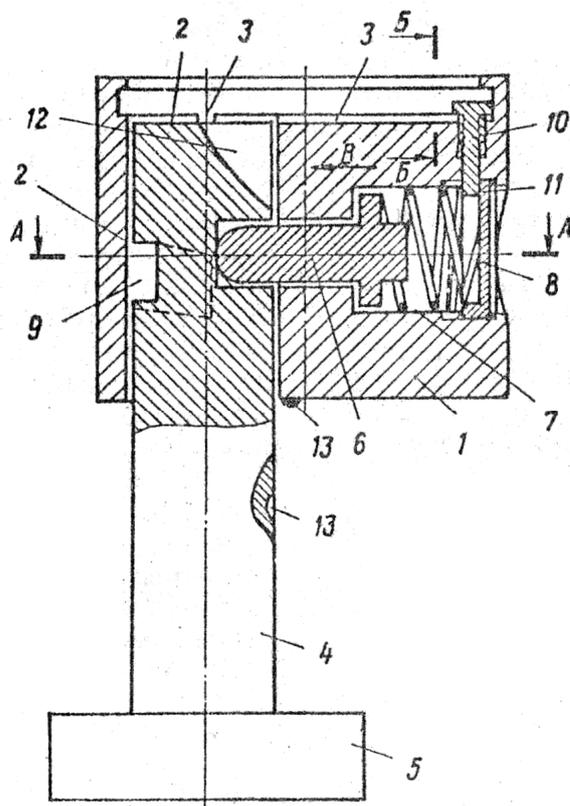


Рисунок 1 – Запорно-пломбирующее устройство многоразового использования

сены метки 13 для ориентации стержня относительно корпуса при пломбировании. Устройство комплектуется фальшстержнем 14 для заблаговременного нанесения опечатывающей мастики (рисунок 2).

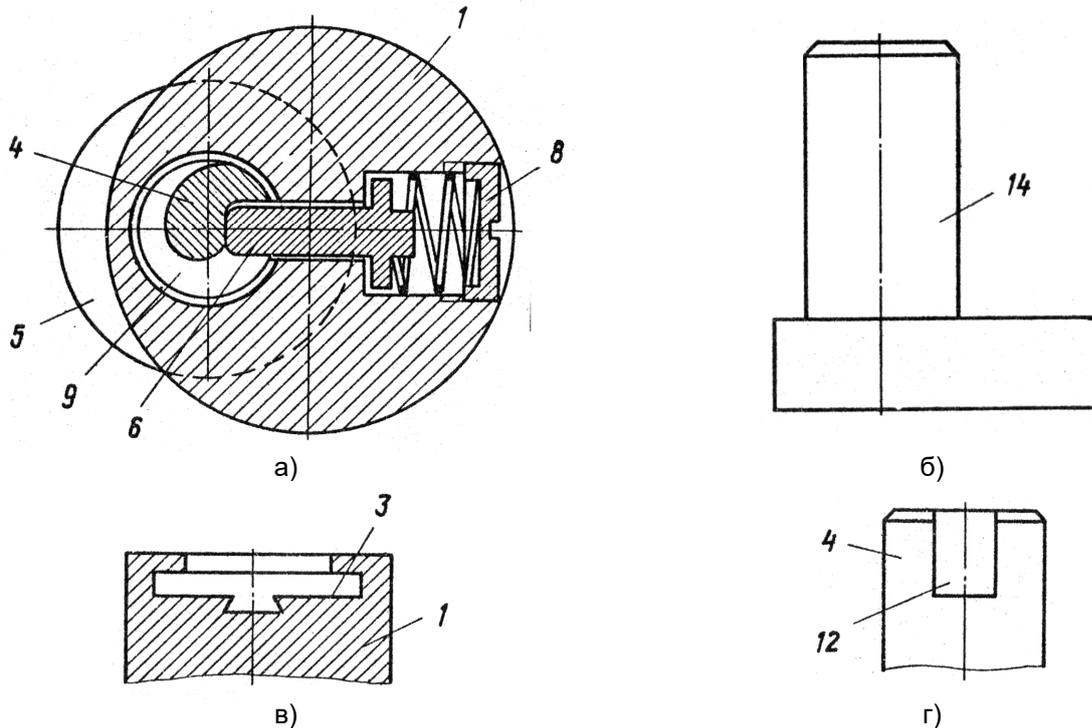


Рисунок 2 – Разрезы Запорно-пломбирующего устройства многоразового использования (см. рисунок 1): а)-разрез А-А; б)-фальшстержень; в)-разрез Б-Б; г)-вид В

Устройство работает следующим образом. Для опечатывания объекта в проушины двери вставляют стержень 4 и, совмещая метки 13, на стержень надевают корпус 1. При этом благодаря скосу 12 подпружиненный шток 6 утапливается, а затем входит в винтовую канавку 9, фиксируя корпус на стержне 4. Затем, на площадку 3 наносят опечатывающую мастику, и на ней ставится отпечаток печати.

В случае необходимости мастика может быть нанесена и опечатана заблаговременно, для чего в корпус вставляют вместо стержня гладкий фальшстержень, который удаляют после отверждения мастики.

Для снятия пломбирующего устройства с двери необходимо повернуть стержень в корпусе 1 несколько меньше одного оборота. При этом шток будет скользить по винтовой канавке 9, утапливаясь в корпусе и смещая стержень в направлении опечатывающей мастики, разрушая ее. В положении, при котором между метками остается угол равный примерно 20°, шток полностью утоплен в корпусе, а мастика разрушена, корпус 1 можно снять со стержня.

Стопорный винт 10 предотвращает снятие заглушки и отпирание устройства без разрушения мастики. Доступ к стопорному винту без разрушения мастики также исключен.

Преимуществами этого технического решения является упрощение изготовления и расширение диапазона использования устройства для опломби-

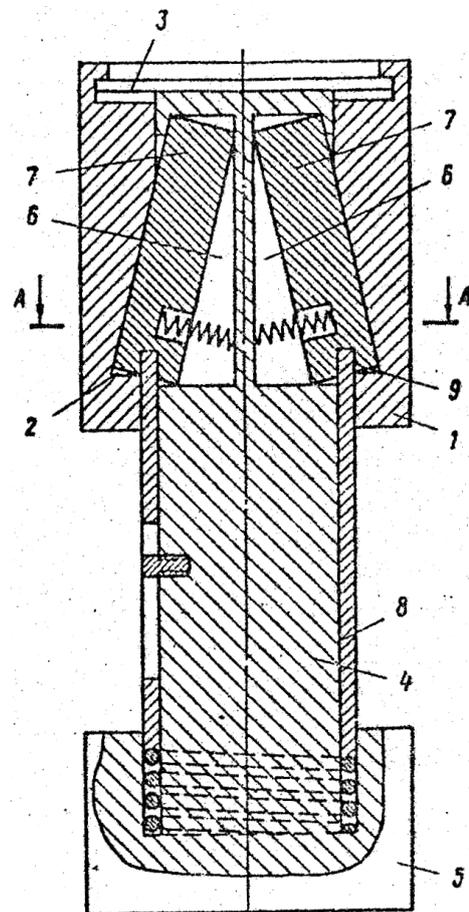


Рисунок 3 – Пломбирующее устройство

рования грузовых помещений всех размеров, как транспортных средств, так и различных складов и их ценных секций при сохранении надежности при пломбировании и точности контроля над несанкционированным вскрытием.

Пломбирующее устройство (рисунок 3) позволяет упростить конструкцию и повысить удобство эксплуатации пломбирующего устройства. В цилиндрическом корпусе 1 с углублением 2 и рифленой площадкой 3 под пломбирующий материал размещен стержень 4 с головкой 5 и продольными пазами. В продольных пазах 6 стержня установлены подпружиненные планки 7, взаимодействующие с углублением 2 корпуса. На стержне 4, расположена гильза 8, подпружиненная в осевом направлении со стороны головки 5. На торцах планок 7 выполнены прорези 9 для размещения в них свободного конца гильзы 8.

Устройство используют следующим образом. Заблаговременно перед пломбированием дверей объекта пломбирования на рифленую, площадку 3 корпуса 1 наносится пломбирующая масса и на ней ставится оттиск печати, для чего в корпус 1 предварительно вставляют фальшстержень 10. После того как пломбирующая масса застынет, фальшстержень 10 выводят из корпуса 1. При опломбировании дверей стержень 4 вставляют в специальные ушки запорного устройства и надевают на него корпус 1, для чего предварительно оттягивают к головке 5 гильзу 8. При вдавливании стержня 4 в корпус 1 планки 7 под действием пружин выйдут из продольных пазов 6 и займут крайнее разведенное состояние в углублении 2 корпуса 1. Гильза 8 под действием пружины входит в прорези 9 планок 7 и таким образом зафиксирует планки в крайнем положении, а тем самым и стержень 4 от осевого перемещения в любую сторону относительно корпуса 1. В таком виде пломбирующее устройство следует вместе с объектом пломбирования. Для снятия пломбирующего устройства с дверей необходимо оттянуть гильзу 8 в сторону головки 5, затем надавить на головку 5 стержня 4 и вдавить его в корпус 1, при этом гильза освободит планки 7, а заходной конец стержня 4 взломает пломбирующую массу с оттиском печати. Планки 7 войдут в продольные пазы 6 и будут зафиксированы в них скользящей гильзой 8, которая перекроет концы планок 7, Стержень 4 получит возможность осевого перемещения и его извлекают из корпуса 1.

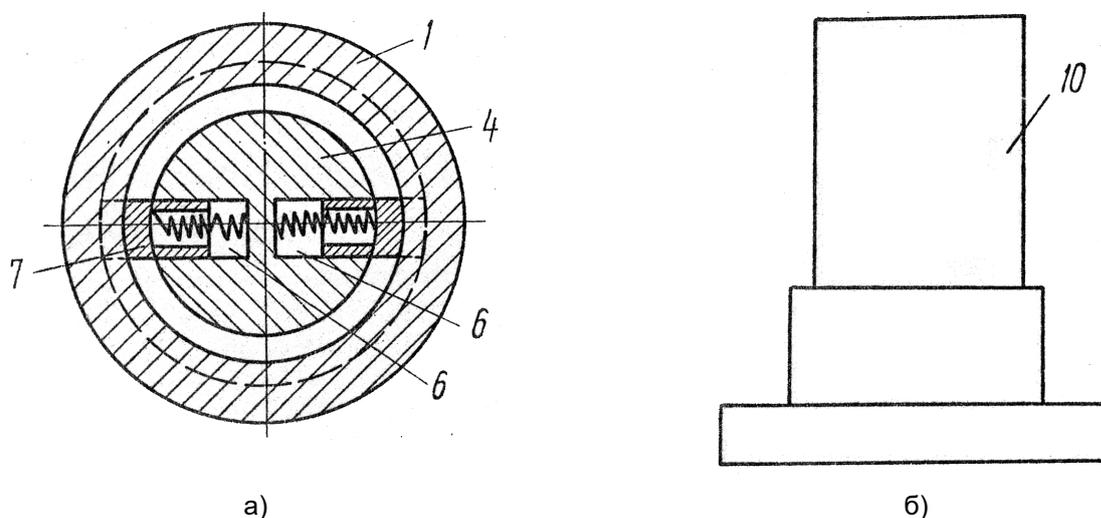


Рисунок 4 – Разрез пломбирующего устройства (см. рисунок 3): а-разрез А-А; б-фальшстержень

Преимуществами такого технического решения являются простота в эксплуатации, заключающаяся в минимальном, времени опломбирования и распломбирования дверей транспортных средств и грузовых помещений складов; в надежности пломбирования и упрощения изготовления, что подтверждено применением опытной партии ЗПУ МИ [1, 2] при опломбировке лихтеров и контейнеров в Дальневосточном пароходстве.

Таким образом, можно сделать вывод, что предложенные технические решения позволят при применении ЗПУ МИ на предприятиях морского транспорта и рыбодобывающей промышленности, получить существенную экономию средств, по сравнению с затрачиваемыми на опломбировку помещений традиционным способом [4, 5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пломбирующее устройство: А.с. СССР SU 1772336 N2 1693223. кл. Е 05839/02 / В.В. Тарасов; заявитель и правообладатель МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 1987.
- 2 Пломбирующее устройство: А.с. СССР SU 1772337 N2 0000000. кл. Е 05839/02 / В.В. Тарасов; заявитель и правообладатель МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 1987.

датель МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 1987.

3 Снопков, В.И. Руководство по проведению сюрвейерских работ на транспорте: учебн. пособие / В.И. Снопков. 2-е изд., испр. и доп. -СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2005. -656 с.

4 Общие и специальные правила перевозки грузов 4-М. -М.: Транспорт, 1985.

5 Снопков, В.И. Технология перевозки грузов морем / В.И. Снопков. -СПб.: Мир и Семья, 2001.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *пломбирующие устройства, запорно-пломбирующие устройства, пломбирующие устройства многоразового использования, лихтер, контейнер*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Тарасов Валерий Васильевич, профессор ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
Машкина Анна Валерьевна, аспирант ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

ВЫБОР СУДНА-ПРОТОТИПА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИБИРСКОГО БУКСИРА-ТОЛКАЧА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

С.А. Котков

SELECTION OF THE PROTOTYPE VESSEL FOR DESIGNING THE SIBERIAN TOWING-POTENTIAL

Siberian state university of water transport

S.A. Kotkov

The technique of choosing a prototype vessel for designing a Siberian pusher is given.

Keywords: towboat, designing, rivers of Siberia

Приводится методика выбора судна-прототипа для проектирования сибирского буксира-толкача.

По разным данным, транспортные предприятия восточных бассейнов – Западно-Сибирского (ЗСБ), Восточно-Сибирского (ВСБ), Северо-Восточного (СВБ) и Дальневосточного (ДВБ) – обладают буксирным флотом в количестве до 700 ед. На судоходные компании, образованные на базе семи речных пароходств: Обь-Иртышского, Иртышского, Западно-Сибирского (ЗСБ), Енисейского, Восточно-Сибирского (ВСБ), Ленского объединенного (СВБ) и Амурского (ДВБ), выполняющие 3/4 общего грузооборота по всем восточным бассейнам, приходится примерно половина наличия буксирной тяги (таблица 1).

Таблица 1 – Наличие буксирного флота в крупнейших транспортных предприятиях восточных бассейнов

Показатель	Бассейн				Итого
	Западно-Сибирский	Восточно-Сибирский	Северо-Восточный	Дальне-Восточный	
Число судов, ед	159	124	47	25	355
Мощность, тыс. л.с.	96	90	40	18	244
Средняя мощность, л.с.	604	726	851	720	687

На Западно-Сибирский и Восточно-Сибирский бассейны приходится 3/4 всего наличия буксирного флота Сибири и Дальнего Востока, что полностью соответствует доле этих бассейнов в грузообороте (рисунок 1).

В свое время в Сибири и на Дальнем Востоке использовалось около 40 проектов буксирных судов мощностью от 150 до 2400 л.с. В связи со списанием устаревшего флота число проектов значительно сократилось (таблица 2).

Анализ структуры буксирного флота по мощности (рисунок 2) показывает, что в Восточных бассейнах практически отсутствуют суда мощностью свыше 800 л.с. Меж-

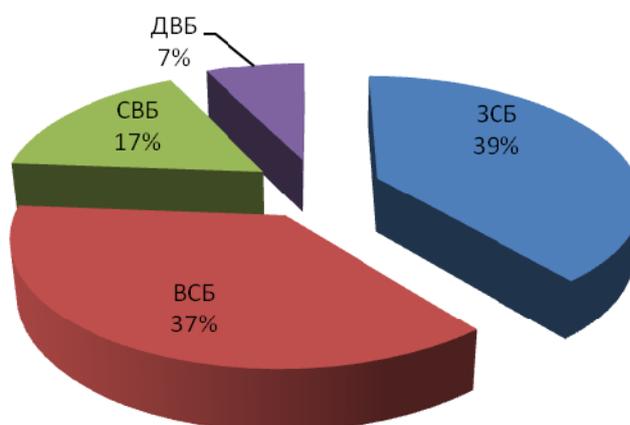


Рисунок 1 – Структура наличия буксирного флота

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

ду тем предварительные обоснования [1, 2] показывают, что суда мощностью 1200-1500 л.с. могут быть весьма эффективными. Поэтому возникает задача выбора судна-прототипа с наилучшими тяговыми характеристиками и главными размерами, прежде всего, осадкой, соответствующими условиям эксплуатации.

Таблица 2 – Наличие буксирного флота

Номер проекта	Мощность, л.с.	Наличие, ед.	Суммарная мощность, л.с.
Н-3290	2400	5	12000
428, 428.1, 428.2	2000	23	46000
СО7521.	1400	3	4200
Р-18, Н3181, А202	1200	3	3600
3801-С	1100	3	3300
758-АМ	800	43	34400
Р-33	800	20	16000
1741А	600	133	79800
1587, 81170	600	18	10800
Р-14А	450	39	17550
Р-96В	300	47	14100
861А	150	16	2400
		355	244150

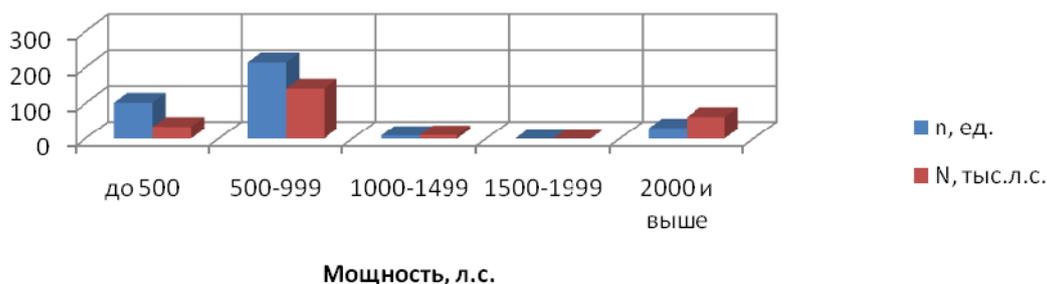


Рисунок 2 – Структура буксирного флота по мощности

Как известно [3], тяговые характеристики буксирного судна отражаются буксировочным КПД

$$\eta = \frac{N_T}{N},$$

где N_T – тяговая мощность, л.с.

Из рисунка 3 следует, что наилучшие тяговые качества имеют буксирные суда пр.758-АМ (800 л.с.), пр.1741 (600 л.с.), а также пр.749 (1200 л.с.), не используемого в восточных бассейнах.

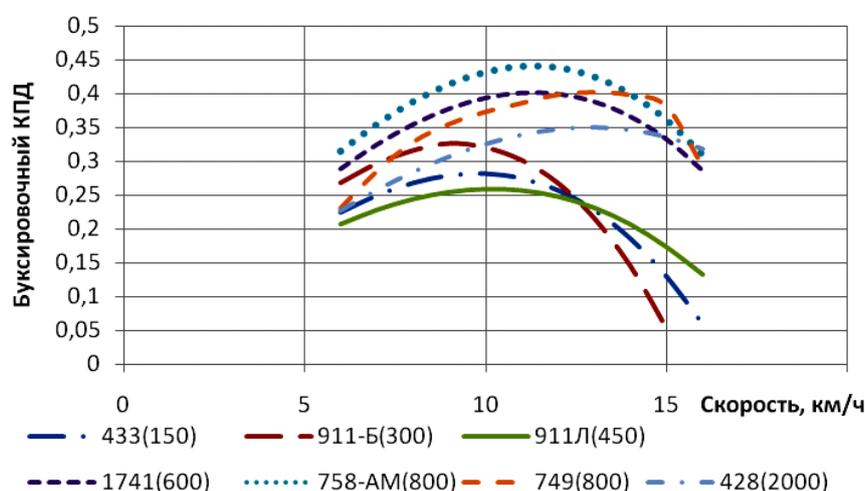


Рисунок 3 – Зависимость буксировочного КПД от скорости

Рисунок 4 показывает, что значение η растет с ростом осадки T , что вполне объяснимо: чем больше T , тем больше диаметр винта D и упор P .

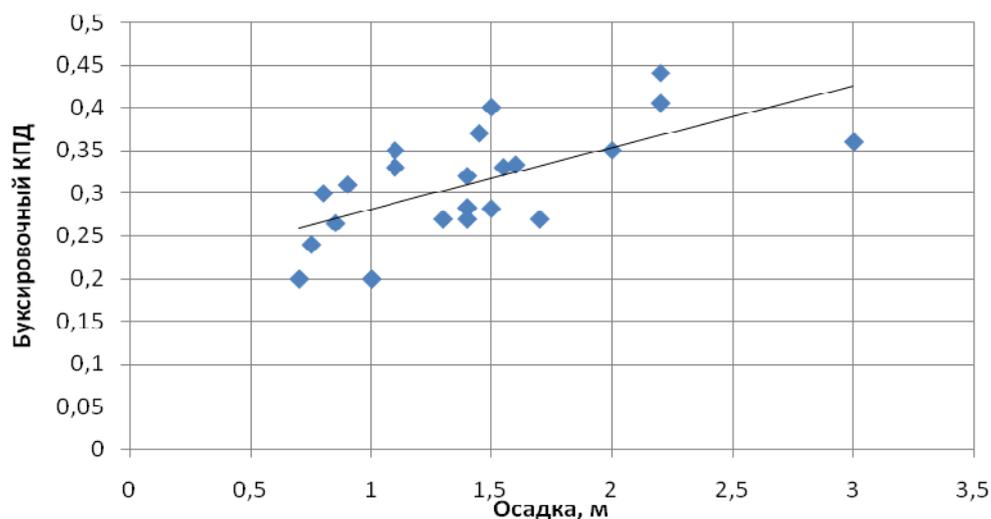


Рисунок 4 – Зависимость буксировочного КПД от осадки

Для обоснования осадки толкача проведем анализ гарантированных глубин (рисунок 5) и грузопотоков (рисунок 6).

По магистральным путям с гарантированными глубинами свыше 220 см перевозится около 12 млн. т, при этом данный грузопоток примерно равномерно распределяется между тремя возможными значениями осадки буксира-толкача (рисунок 6).

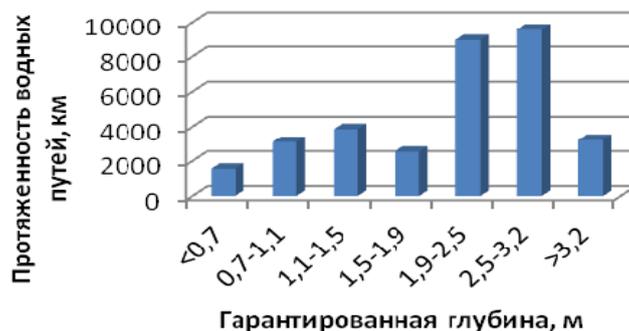


Рисунок 5 – Структура гарантированных глубин на водных путях восточных бассейнов

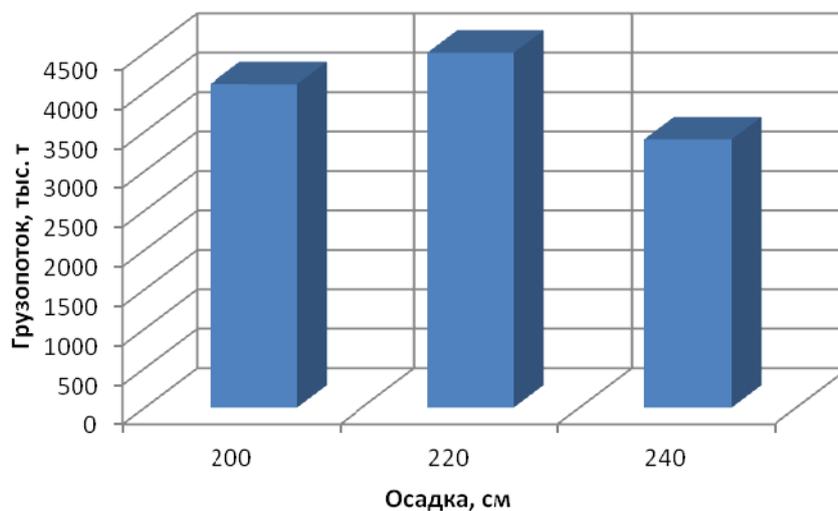


Рисунок 6 – Структура грузопотоков

Проведем расчет ходкости в зависимости от осадки T судна мощностью 1200 л.с. при следующих значениях: водоизмещение $D=460$ т, коэффициент полноты водоизмещения $\delta=0,6$; расчетная скорость $v=12$ км/ч, отношение $D/T=0,85$.

Проведенные расчеты показывают, что при отсутствии ограничений по осадке, то есть при одном и том же значении D/T (в нашем случае 0,85), упор винта отличается незначительно.

Принимаем в качестве судна-прототипа буксир-толкач мощностью 1200 л.с. и осадкой 2 м. Тяговые характеристики судна приведены на рисунке 7.

Выводы:

– В составе буксирного флота Сибири практически отсутствуют суда мощностью 1000-1500 л.с., вместе с тем, как показывают исследования, толкачи такой мощности могут быть весьма эффективными.

– В качестве судна-прототипа для проектирования перспективного судна выбран буксир-толкач мощностью 1200 л.с. и осадкой 2 м.

– Конкретные значения мощности силовой энергетической установки (СЭУ) и типа СЭУ требуют дополнительных обоснований.

Таблица 3 – Обоснование осадки буксирного судна

Показатель	Значения		
$T, \text{ м}$	2	2,2	2,4
H/T	1,64	1,58	1,53
$H, \text{ м}$	3,28	3,48	3,67
$L, \text{ м}$	38	38	38
$B, \text{ м}$	10,09	9,17	8,41
$LBH, \text{ м}^3$	1257,3	1214,4	1171,5
$D_B, \text{ м}$	1,70	1,87	2,04
$V_p, \text{ м/с}$	2,62	2,62	2,62
$P, \text{ кг}$	7218,7	7216,7	7214,9

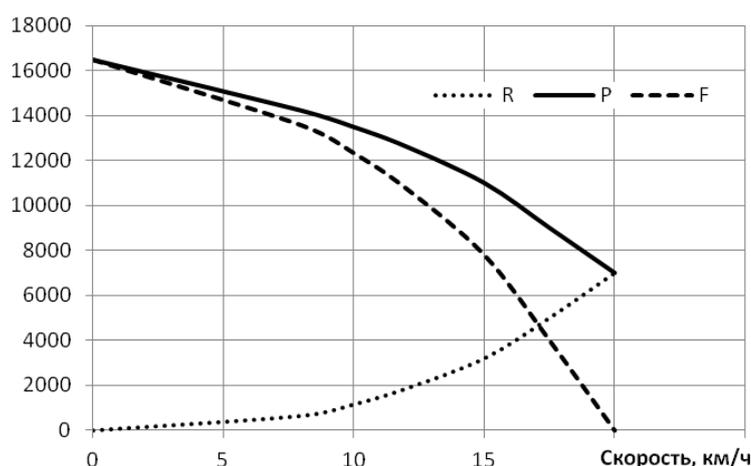


Рисунок 7 – Тяговые характеристики судна-прототипа

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Фомин, В.Г. Техничко-экономическое обоснование целесообразности создания толкача мощностью 1500 л.с./ В.Г. Фомин, З.А. Норвелло // Повышение эффективности и качества транспортных судов: Тр. центр. научн.-исслед. ин-та экономики и эксплуатации водного транспорта. -Вып. 135. -М., 1972. -С. 3-20.
 2 Никифоров, В.С. Судоходство и водные пути Енисейского бассейна / В.С. Никифоров, Л.Н. Федоров. –Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2011. -С. 114-120.
 3 Лесюков, В.А. Теория и устройство судов внутреннего плавания: учебник. -4-е изд., перераб. и доп. / В.А. Лесюков. -М.: Транспорт, 1982. -303 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: буксир, проектирование, реки Сибири
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Котков Сергей Александрович, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

РОЛЬ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА В РАЗВИТИИ НОВОСИБИРСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

О.В. Колодяжная

THE ROLE OF RIVER TRANSPORT IN THE DEVELOPMENT OF THE NOVOSIBIRSK AGGLOMERATION
 Siberian state university of water transport
 O.V. Kolodiazhnaja

Prospects of development of river transport in Novosibirsk agglomeration.

Keywords: agglomeration, the zone of advanced development, transport infrastructure, river transport

Рассмотрены перспективы развития речного транспорта в Новосибирской агломерации.

В целях обеспечения комплексного инновационного развития региона главы ряда муниципальных образований Новосибирской области 22 мая 2015 года подписали соглашение о создании и совместном развитии Новосибирской агломерации Новосибирской области [5]. Под агломерацией в этом соглашении понимается совокупность муниципальных образований (поселений и городских округов) Новосибирской области, в пределах территории которой компактно расположен ряд населенных пунктов, объединенных в сложную систему с интенсивными производственными, инфраструктурными, транспортными социальными и экономическими связями, общим использованием прилегающих территорий и ресурсов развития.

В состав Новосибирской агломерации вошли города Новосибирск, Бердск, Искитим, Обь, р.п. Кольцово, а также Искитимский, Колыванский, Коченевский, Мошковский, Новосибирский, Ордынский, Тогучинский муниципальные районы.

Новосибирская агломерация является крупнейшей агломерацией за Уралом, она входит в число 17 регионов, в которых определены пилотные проекты по развитию агломераций. Кроме того, она является центром Южно-Сибирского региона, в который входят также Кузбасская, Барнаульская и Томская агломерации. Это – активно развивающаяся агломерация, входящая в группу лидеров и в базовый каркас расселения России. На её основе будет строиться развитие проекта сибирской конурбации.

Основной целью создания и развития Новосибирской агломерации является формирование стратегических приоритетов комплексного развития территории Новосибирской агломерации на среднесрочную и долгосрочную перспективы, с учетом необходимости реализации важнейших стратегических задач Новосибирской области.

Предполагается, что 12 муниципальных образований объединяют свои усилия для совместной реализации крупных инфраструктурных проектов, увеличения объёмов жилищного строительства, создания объектов социальной сферы и других. Соглашение вступило в силу со дня его подписания и действует до 2034 г.

В числе основных задач важнейшими для представителей транспортной сферы являются реформирование и комплексная модернизация всех инфраструктурных комплексов Новосибирской агломерации и развитие транспортной инфраструктуры (в том числе речного транспорта) на территории агломерации.

Транспортные связи внешней зоны агломерации осуществляются железнодорожным, автобусным и автомобильным транспортом по дорогам общей сети с использованием местной и междугородной маршрутной сети. При повышении технических возможностей транспортных систем и увеличении скорости сообщения на массовом транспорте агломерационные процессы в перспективе могут усиливаться.

Центральная, внутренняя часть агломерации, которая охватывает, кроме самого города Новосибирска, его пригородную зону, включая Обь, Краснообск, Кольцово, Академгородок, Бердск, Пашино, зоны отдыха по берегам Новосибирского водохранилища и зоны хозяйственного использования вдоль р. Оби на север от города, обслуживается пригородными маршрутами железной дороги и автобусного транспорта.

В пределы Новосибирской агломерации входит судоходный участок реки Обь от границы Новосибирской области и Алтайского края – на юге, до границы Болотнинского и Мошковского муниципальных районов Новосибирской области – на севере, протяженностью свыше 270 км.

Развитие агломерации производится через определение зон опережающего развития по принципу выявления специализации. Выделены пять зон, которые призваны не только обеспечить развитие Новосибирской агломерации, но и пространственную диверсификацию деловой активности. В них входят «Наукополис», объединяющий научно-образовательный потенциал Академгородка, Кольцово и Краснообска; «Аэросити» на базе аэропорта Толмачево; Восточная транспортно-логистическая зона, включающая северо-восточную часть Новосибирска, часть территорий Новосибирского и Мошковского района; строительно-производственный кластер на базе территорий Искитима и Бердска; порт Ташара Мошковского района.

В целях создания условий для привлечения инвестиций и размещения новых предприятий транспорта, логистики, промышленности и торговли, реализации крупных инфраструктурных и инвестиционных проектов Новосибирской агломерации в мае 2017 года министерством строительства Новосибирской области проведен конкурс на право заключения государственного контракта на выполнение научно-исследовательской работы «Проект градо-

строительного развития зоны опережающего развития «порт Ташара» Новосибирской агломерации» [2]. Определен победитель – ООО Научно-исследовательский институт «Земля и город», с которым 9 июня 2017 года заключен соответствующий контракт [3].

Модернизация порта Ташара должна решить в том числе такую проблему как неразвитость рынка интегрированных транспортных услуг с участием речного транспорта. Внутренний водный транспорт выступает как отдельное логистическое звено, что ограничивает его доступность для большинства потребителей транспортных услуг.

В то же время, речной транспорт имеет достаточные мощности и может решать поставленные задачи по переориентации перевозок тяжеловесных и крупногабаритных грузов с автомобильного на водный транспорт. Поэтому порт Ташара рассматривается как основной проект для реализации поставленных задач по продвижению внутреннего водного транспорта среди крупных грузоотправителей, а также для поддержания развития внутреннего водного транспорта, как на территории Новосибирской области, так и Сибири в целом. Перспективное развитие порта положительно отразится на развитии Мошковского района, в частности Ташаринского сельсовета, где планируются развитие новых производств, а также расширение действующих предприятий и развитие объектов агропромышленного комплекса.

Для реализации проекта в перспективе должна быть решена задача развития транспортно-логистической инфраструктуры для обеспечения стыковки железнодорожного и речного транспорта вне границ города Новосибирска для этого необходимо обеспечить восстановление железнодорожной ветки, от железнодорожной станции Мошково до порта Ташара протяженностью 30 км, была демонтирована в 2005 году.

В порту Ташара имеется площадка для размещения речного грузового порта и его инфраструктуры, размер территории для освоения около 200 га. Порт способен аккумулировать на причальной стенке и площадках разгрузки до 1 млн. т насыпных грузов и имеет нефтехранилище объемом 500 тыс. т нефтеналивных грузов.

Кроме того, порт рассматривается как объект, на базе которого свое дальнейшее развитие может получить Новосибирский речной порт.

Постановлением Правительства Новосибирской области от 28.04.2014 г. №186-п «Об утверждении схемы территориального планирования Новосибирской агломерации Новосибирской области» определен перечень объектов капитального строительства в области развития транспорта регионального и межмуниципального значения [1].

Несмотря на значительное число населенных пунктов, транспортных узлов, промышленных и рекреационных объектов, расположенных на протяжении всего участка реки Обь, протянувшегося по территории Новосибирской агломерации, в утвержденную схему территориального планирования Новосибирской агломерации Новосибирской области вошли лишь четыре объекта речного транспорта: речной вокзал в городе Новосибирске и три причала в Новосибирском, Искитимском и Ордынском районах.

Таким образом, схема территориального планирования Новосибирской агломерации, разработанная московским открытым акционерным обществом «Российский институт градостроительства и инвестиционного развития «ГИПРОГОР», являющаяся стратегическим градостроительным документом и представляющая территориальное развитие Новосибирской агломерации до 2032 года, предусматривает незначительные объемы строительства гидротехнических сооружений в южной части отрезка реки Обь, входящего в агломерацию, при полном отсутствии развития северной части этого отрезка (ниже города Новосибирска).

Такой подход к перспективному развитию инфраструктурных гидротехнических сооружений Новосибирской агломерации свидетельствует о минимальных предполагаемых перспективах развития речного транспорта с точки зрения проектировщиков схемы территориального планирования Новосибирской агломерации. Однако, усиление роли речного транспорта в рамках Новосибирской агломерации могло бы способствовать ее развитию, обеспечить дешевые массовые перевозки строительных, сыпучих и иных грузов, а также трудовые, учебные, бытовые, культурные и рекреационные пассажирские перевозки в рамках маятниковой миграции, общее значение которой должно составить около 15% трудоспособного населения, проживающего в пределах агломерации.

В связи с этим представляется необходимым разработка комплекса предложений по развитию инфраструктуры речного транспорта в рамках Новосибирской агломерации. Указанные предложения могут быть внесены в Координационный совет по развитию Новосибирской агломерации, образованный в соответствии с постановлением Губернатора Новосибирской области от 28.07.2015 г. №141, основной задачей которого является координация

деятельности областных исполнительных органов государственной власти Новосибирской области, органов местного самоуправления муниципальных образований Новосибирской области, заинтересованных организаций, общественности и экспертов по развитию и повышению эффективности управления Новосибирской агломерацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Постановление Правительства Новосибирской области от 28.04.2014 N 186-п «Об утверждении схемы территориально-го планирования Новосибирской агломерации Новосибирской области».

2 Протокол рассмотрения и оценки заявок на участие в открытом конкурсе / Госзакупки. Режим доступа: - <http://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/printForm/view.html?structuredProtocolID=13516469>. -30.05.2017.

3 Сведения о контракте / Проект ГосЗатраты. Режим доступа: <https://clearspending.ru/contract/2540663611717000006/>. -13.06.2017 г.

4 В регионе продолжается обсуждение Программы комплексного развития транспортной инфраструктуры Новосибирской агломерации/ Правительство Новосибирской области. -Режим доступа: <http://www.nso.ru/news/23633>. -30.05.2017.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *агломерация, зона опережающего развития, транспортная инфраструктура, речной транспорт*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Колодяжная Ольга Викторовна, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

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

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ПО МИНИМАЛЬНОЙ СТОИМОСТИ МАТЕРИАЛОВ И МОНТАЖА ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет» филиал «Тобольский индустриальный институт»

Ю.В. Дёмин, Б.В. Палагушкин, Г.В. Иванов, А.Ю. Кузнецов, Д.Н. Плотников, Е.Н. Солнцева, М.Н. Романов

DESIGN OPTIMIZATION OF GROUNDING DEVICES OF TRACTION SUBSTATIONS, AT A MINIMUM COST OF MATERIALS AND INSTALLATION WHILE MAINTAINING THE ELECTRICAL CONDITIONS

Siberian state university of water transport

Branch of Tyumen state oil and gas university in Tobolsk

Yu.V. Demin, B.V. Palagushkin, G.V. Ivanov, A.Yu. Kuznetsov, D.N. Plotnikov, E.N. Solntseva, M.N. Romanov

Optimized design of grounding devices of traction substations for different regions of the Russian Federation, if the necessary requirements of the electrical safety.

Keywords: corrosion currents, grounding device, traction substation.

Оптимизирована конструкция заземляющих устройств тяговых подстанций для различных регионов РФ при выполнении необходимых требований по электробезопасности.

Заземляющие устройства (ЗУ) электроустановок (например, тяговых подстанций) эксплуатируются в различных грунтово-климатических условиях стран СНГ [1]. Разнообразие типов грунтов на площадках подстанций в различных районах СНГ хорошо иллюстрирует таблица 1 [2].

Таблица 1 – Типы грунтов на площадках высоковольтных подстанций в различных регионах СНГ

Мощность слоя грунта, м	Название район (населенного пункта) СНГ			
	С-Петербург	Крым	Кузбасс	Ашхабад
0 1 2				
0 1 2	Рязань	Омск	Алтай	Красноводск
0 1 2				
0 1 2	Орел	Томск	Кокчетав	Якутск
0 1 2				
0 1 2	Новосибирск	Экибастуз	Чита	Полтава
0 1 2				
Условные обозначения грунтов				
Крупно-дисперсные	Суглинистые	Песчаные	Глинистые	Скальные

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

При расчете стоимости заземляющих устройств электроустановок, расположенных в разных регионах, необходимо учитывать следующие параметры:

- удельные затраты на прокладку горизонтальных шин ЗУ, у.е./м;
- удельные затраты на прокладку вертикальных электродов ЗУ, у.е./м;
- удельные затраты на землеотвод, у.е./м²;
- размер горизонтальных шин, диаметр и длина вертикальных электродов;
- неравномерный шаг сетки ЗУ;
- тип грунта (для различных регионов состав грунта отличается, толщина слоя однородного грунта, удельное сопротивление грунта, Ом·м).

Примечание: 1 у.е. = 2,66 руб. (в ценах 2001 г.). Значение условной единицы определено по программе Гранд-Смета.

Кроме того, в ходе оптимизации ЗУ учитывались ограничения:

- сопротивление растекания, Ом (не более 0,5 Ом);
- напряжение прикосновения, В (не более 500 В);
- максимальный потенциал на ЗУ, кВ (не более 10 кВ);
- размеры ЗУ, м² (площадь занимаемого земельного участка);
- выравнивание потенциала.

Таблица 2 – Расчет стоимости ЗУ тяговых подстанций в различных регионах РФ

Размещение ЭУ	Параметры грунта				ЗУ минимальной стоимости				
	Первый слой однородного грунта		Второй слой однородного грунта		Граница раздела слоев, м	Площадь ЗУ, м ²	Суммарная длина горизонтальных шин, м	Средний размер ячейки, м	Стоимость ЗУ, у.е.
	Тип грунта	Удельное сопротивление, Ом·м	Тип грунта	Удельное сопротивление, Ом·м					
Омск	Каменистый	200	Суглинок	100	1,7	7600	1653	10	71513
Новосибирск	Песок	300	Суглинок	100	1,0	7000	1428	11	73153
Томск	Каменистый	200	Суглинок	100	0,8	5800	1292	10	63612
Рязань	Каменистый	200	Песок	500	1,0	20500	3575	12	170443

Схемы, представленные в таблице 1, позволяют определить тип грунта и толщину однородного слоя (мощность слоя). Соответственно, зная тип грунта, определяем удельное сопротивление грунта [3].

С помощью программы «ОРУ-Проект» выполнен расчет стоимости ЗУ для тяговых подстанций, расположенных в различных регионах РФ (таблица 2).

Таблица 3 – Ограничения для ЗУ минимальной стоимости

Размещение ЭУ	Граница раздела слоев, м	Площадь ЗУ, м ²	Суммарная длина горизонтальных шин, м	Средний размер ячейки, м	Максимальный потенциал на ЗУ, В	Полное сопротивление ЗУ, Ом	$U_{пр}$, В	Размеры ЗУ, м	Ток, вводимый в ЗУ, кА
Омск	1,7	7600	1653	10	2391	0,48	344	87×87	5
Новосибирск	1,0	7000	1428	11	2435	0,49	370	84×84	5
Томск	0,8	5800	1292	10	2445	0,49	370	76×76	5
Рязань	1,0	20500	3575	12	2496	0,50	255	143×143	5
Орел	1,0	4000	1008	9	2394	0,48	374	63×63	5

Из результатов, представленных в таблице 2, делаем вывод: в зависимости от региона расположения электроустановки, стоимость монтажа ЗУ отличается существенно.

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

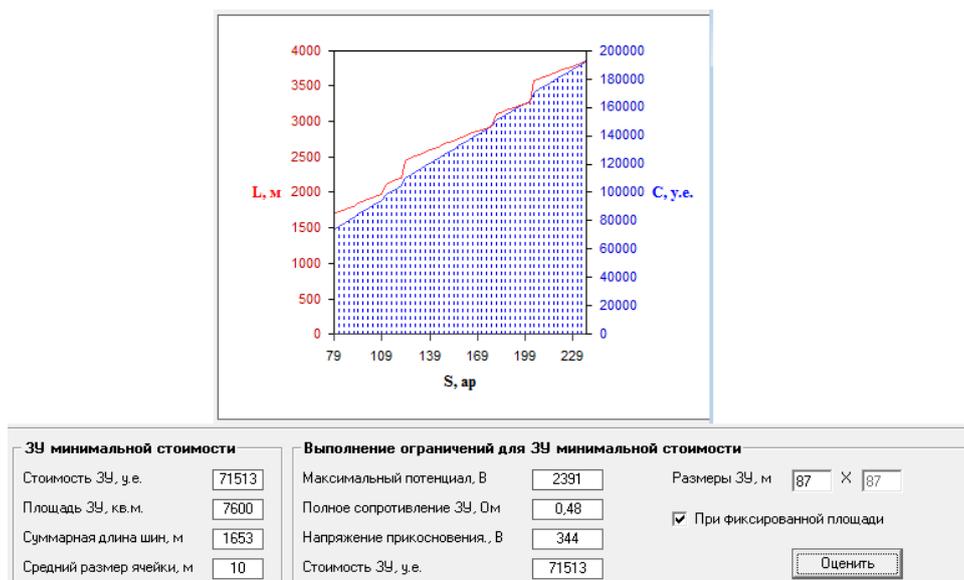


Рисунок 1 – Результаты расчета ЗУ для электроустановки, расположенной в районе г. Омска

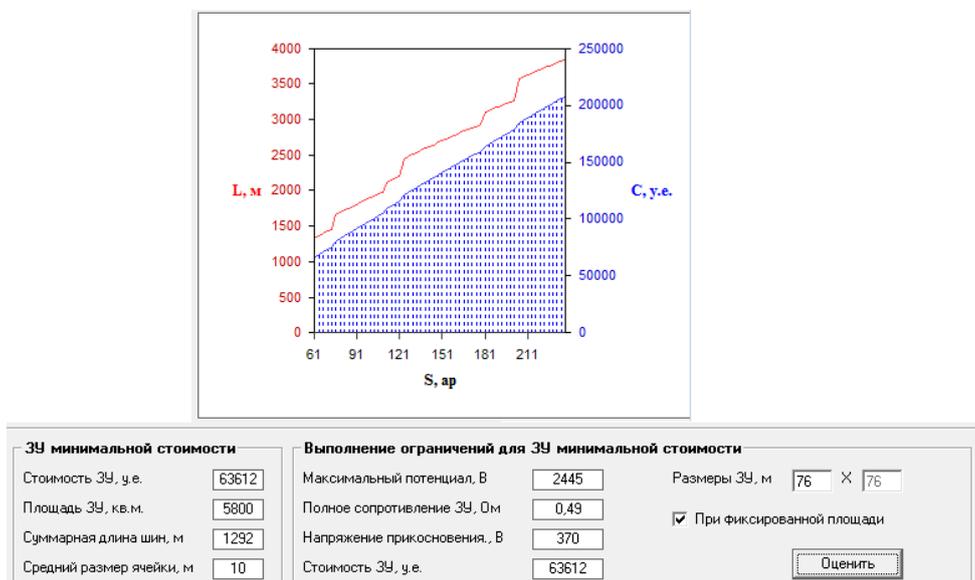


Рисунок 2 – Результаты расчета ЗУ для электроустановки, расположенной в районе г. Томска

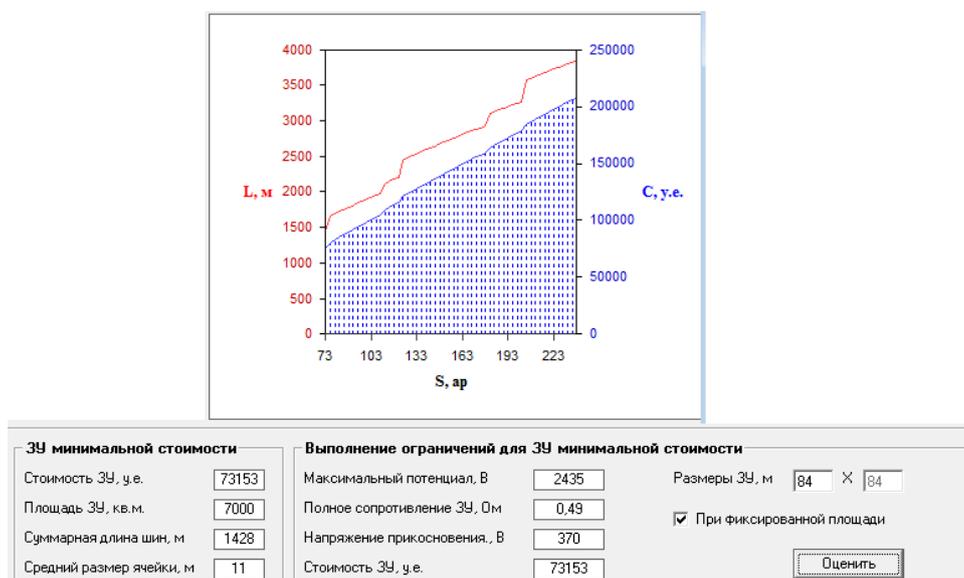


Рисунок 3 – Результаты расчета ЗУ для электроустановки, расположенной в районе г. Новосибирска

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО



Рисунок 4 – Результаты расчета ЗУ для электроустановки, расположенной в районе г. Орла

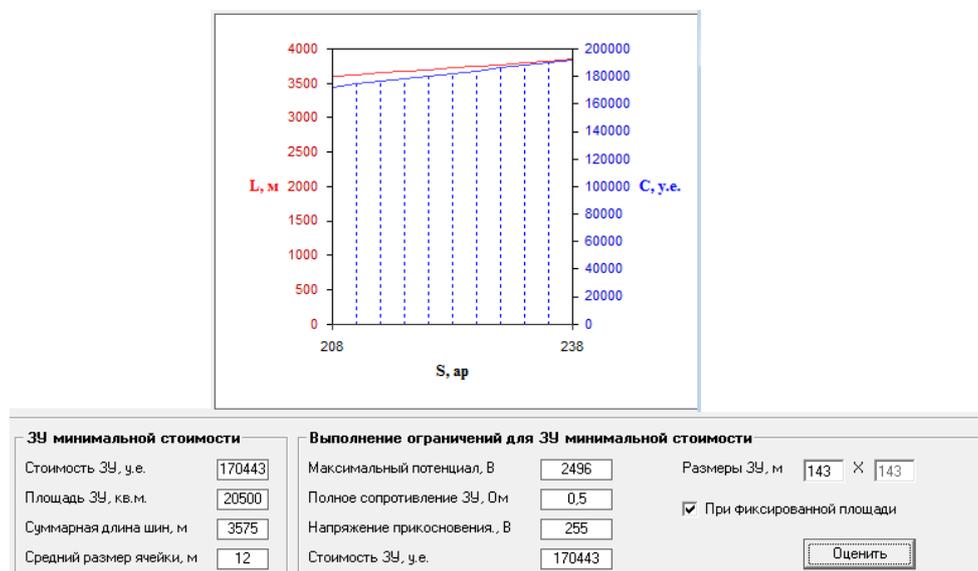


Рисунок 5 – Результаты расчета ЗУ для электроустановки, расположенной в районе г. Рязани

Выводы:

- предложенная методика позволяет оптимизировать конструкцию ЗУ тяговых подстанций по стоимости с учетом соблюдения условий электробезопасности и надежности;
- необходимо продолжить исследования оптимизации заземляющих устройств тяговых подстанций с учетом обеспечения благоприятной электромагнитной обстановки в современных условиях при внедрении цифровой техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Дёмин, Ю.В. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций в агрессивных средах: Т.2 / Ю.В. Дёмин и др.; Под. ред. В.П. Горелова. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 1998. -198 с.
- 2 Дёмин, Ю.В. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций в агрессивных средах: Т.1 / Ю.В. Дёмин и др.; Под. ред. В.П. Горелова. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 1998. -210 с.
- 3 Жук, Н.П. Коррозия и защита металлов. Расчеты / Н.П. Жук. -М.: ГНТИ МАШГИС, 1957. -333 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: токи коррозии, заземляющее устройство, тяговая подстанция

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Палагушкин Борис Владимирович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Иванов Геннадий Викторович, канд. техн. наук, доцент филиал ФГБОУ ВПО «ТюмГНГУ» в г.Тобольске

Кузнецов Алексей Юрьевич, канд. техн. наук, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Плотников Дмитрий Николаевич, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Солнцева Елена Николаевна, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Романов Марк Николаевич, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»
626158, г.Тобольск, Зона вузов №5, филиал ФГБОУ ВПО «ТюмГНГУ» в г.Тобольске

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ 3D НИВЕЛИРОВАНИЯ ICON LEICA GEOSYSTEMS ПРИ РАБОТАХ ПО ПЛАНИРОВКЕ ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Западно-Сибирская дирекция по ремонту пути – структурное подразделение Центральной дирекции по ремонту пути – филиала ОАО «РЖД»
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.С. Пикалов, Д.В. Величко, А.А. Севостьянов

THE USE OF 3D LEVELING SYSTEM ICON LEICA GEOSYSTEMS WHEN WORKING ON THE LAYOUT OF THE MAIN SITE OF THE SUBGRADE

West-Siberian directorate for track repair
Siberian state transport university
A.S. Pikalov, D.V. Velichko, A.A. Sevostianov

To improve the quality of works on cutting of contaminated ballast and the layout of the main site of the subgrade, it is proposed to use 3D leveling iCon of the Swiss company Leica Geosystems. The test of this system was conducted in July 2015, on the section of track overhaul single-track section West-Siberian railway. The aim was to check the stated specifications to ensure regulatory accuracy (up to 4 cm) of the tenderloin. When using the system 3D leveling iCon Leica Geosystems achieving the design level of the clipping control points is done with an accuracy of 2-3 cm Using 3D leveling Leica Geosystems iCon will allow you to accurately execute design solution with a resolution of 1 cm and to eliminate the human factor in the production of works.

Keywords: railway track, repair, excavation, the layout of the main site of the subgrade, the leveling system 3D

Для повышения качества работ по вырезке загрязненного балласта и планировке основной площадки земляного полотна предлагается использовать систему 3D нивелирования iCon швейцарской фирмы Leica Geosystems. Испытание этой системы проводилось в июле 2015 г. на участке капитального ремонта пути однопутного участка Западно-Сибирской железной дороги. Целью было проверить заявленные характеристики по обеспечению нормативной точности (до 4 см) вырезки. При использовании системы 3D нивелирования iCon Leica Geosystems достижение проектных отметок вырезки по контрольным точкам производится с точностью 2-3 см. Использование 3D нивелирования iCon Leica Geosystems позволит точно выполнять проектные решения с дискретностью 1 см и исключить человеческий фактор при производстве работ.

Строгое соблюдение проектных решений при модернизации и всех видах ремонтов пути – приоритетная задача путевых машинных станций (ПМС). Основные проектные параметры железнодорожного пути относятся к его пространственному положению. Это величина рихтовки, подъёмки, положение пути в кривых – радиус кривой, длины переходных кривых, возвышение наружного рельса и ряд других параметров.

Соблюдение высотных параметров, с учетом обеспечения нормативной толщины щебеночного балласта, зависит от подготовки основной площадки земляного полотна. Проектная отметка основной площадки является фундаментом для укладки остальных элементов верхнего строения пути. Без соблюдения ее высотных параметров невозможно поставить железнодорожный путь по проектным решениям.

По применяемой ныне технологии, реализуемой ПМС, постановки пути в проектное положение производится практически вручную. Контроль проектных параметров основной площадки выполняется при помощи рейки с уровнем или нивелиром относительно заранее вынесенных на опоры реперов или относительно соседнего пути, а контроль результатов работ велся не по всему пути, а лишь выборочно. С учетом линейной протяженности объектов (до 20 км) использование оптических приборов затруднительно, поскольку техника растянута вдоль фронта работ. Также использование этих приборов полностью исключается в ночное время суток. Эта технология имеет ряд недостатков: контроль точности через 50-70 м (в створах по опорам контактной сети), низкая производительность при окончательной планировке, отсутствие возможности производить точный контроль в темное время суток, невозможность обеспечить ровность поверхности (продольный и поперечный уклоны) между точками контроля.

Для повышения качества работ по вырезке загрязненного балласта и планировке основной площадке земляного полотна предлагается использовать систему 3D нивелирования iCon швейцарской фирмы Leica Geosystems [1].

Испытание этой системы проводилось в июле 2015 г. на участке капитального ремонта

пути (КМ 87 ПК2-7) однопутного участка Евсино-Дорогино Западно-Сибирской железной дороги [2]. Целью было проверить заявленные характеристики по обеспечению нормативной точности (до 4 см) вырезки [3], планировки основной площадки земляного полотна, за счет применения системы автоматического управления отвалом iCon Leica Geosystems на автогрейдер. Система с загруженным в нее цифровым проектом ремонта отображает на экране у грейдериста величины требуемых срезов в режиме реального времени. Управление отвалом производится в автоматическом режиме посредством гидрораспределителя, врезанного в гидравлическую систему автогрейдера (рисунок 1), то есть автогрейдер сам делает вырезку или планировку балласта по заданным отметкам, а работник лишь управляет им как автомобилем.

Технология работы с применением системы 3D нивелирования iCon Leica Geosystems следующая.

Подготовительные работы. На участке работ в любом месте устанавливается базовая станция (радиус действия – до 10 км). Затем на участке создаются не менее трех временных репера для привязки проекта непосредственно при ремонте (работа ведется в условной системе координат). После этого технолог ПМС с использованием переносного комплекта спутникового оборудования осуществляет съемку существующих отметок головки рельса до ремонта по пикетам (1-2 с/точку).



Рисунок 1 – Работа автогрейдера в автоматическом режиме

После производства работ по съемке при помощи программного обеспечения, на основе данных проекта ремонта, создается цифровой проект, который учитывает поперечный уклон и проектные отметки основной площадки земляного полотна. Проект может быть сформирован в полевых условиях с использованием ноутбука за 2-3 ч.

Основные работы. На участке работ в любом месте устанавливается базовая станция, затем по ранее вынесенным реперам осуществляется привязка проекта. Проект загружается в установленный на автогрейдер контроллер Leica iCon iCG60, с использованием флэш-карты. Далее при помощи переносного комплекта спутникового оборудования производится калибровка высотной отметки отвала автогрейдера (5-7 мин.). Затем выполняется работа по планировке основной площадки земляного полотна. При этом система в автоматическом режиме управляет отвалом автогрейдера, с помощью гидрораспределителя врезанного в гидравлическую систему автогрейдера, за счет чего и достигаются необходимые проектные отметки вырезки (планировки) балласта.

Заключительные работы. Для контроля выполненных работ технолог ПМС с использованием переносного комплекта спутникового оборудования осуществляет съемку существующих отметок основной площадки земляного полотна после вырезки по пикетам. Производится снятие базовой станции.

Контроль положения уровня земляного полотна выполнен по 21 створу, через каждые 25 м (рисунок 2) двумя независимыми способами: ротационным нивелиром Bosch GRL 300 HV Set и спутниковым приемником Leica iCon iCG60. Результаты сравнительных испытания показали, точность выполнения проектных решений составляет 3 см (ротационный нивелир Bosch) и 2 см (спутниковый приемник Leica), при величине нормативного отклонения – 4 см [3].

При этом необходимо учитывать, что система была установлена на штатный автогрейдер марки ДЗ-98В на котором в ходе монтажа обнаружены люфты в элементах и износ гидравлической системы, что оказало влияние на точность системы (заявленная точность iCon Leica Geosystems – 1,5 см).

Автоматизация работает без сбоев, ровность вырезаемой поверхности обеспечена с высокой точностью.

Общий экономический эффект от внедрения новой технологии складывается из двух основных составляющих.

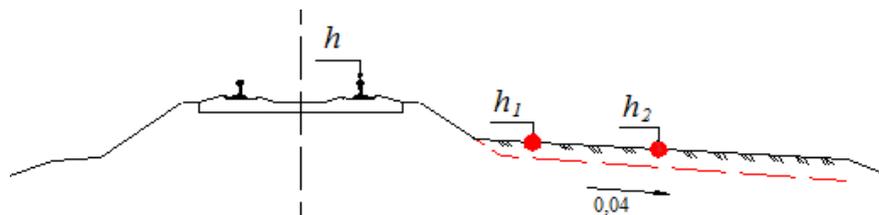


Рисунок 2 – Створ контроля планируемой поверхности земляного полотна

– *Экономия щебеночного балласта.* При работе по балластировке контроль подъемки осуществляется на предварительно подготовленную основную площадку земляного полотна, соответственно на участках между опорами (где на сегодняшний день осуществляется контроль) производится усредненный контроль и не обеспечивается точная планировка поверхности. В результате чего на участках с неравномерной вырезкой может производиться излишняя балластировка до 3 см на 5% участка, что приведет к перерасходу щебеночного балласта. Объем нового щебеночного балласта, в соответствии с распоряжением №137р от 30.01.2008 г. [4], на путях 1, 2 класса составляет 2990 м³/км пути, при толщине щебеночного балласта под шпалой 40 см. Вычислим объем щебеночного балласта толщиной 3 см на 1 км пути: $V_{3см} = 2990 \cdot 3/40 = 224,25 \text{ м}^3/\text{км}$ пути. Объем годовых капитальных работ по ПМС-22 ЗСДРП – 139,2 км. Соответственно 5% от этой длины составит 6,96 км, а объем балласта – 1560,78 м³. Стоимость щебеночного балласта с учетом тарифа на доставку 1070 руб./м³. Итого эффект от экономии щебеночного балласта – 1,67 млн. руб./год.

– *Сокращение затрат на вырезку загрязненного балласта.* При недостаточном контроле вырезки загрязненного балласта автотракторной техникой образуется излишняя вырезка от проектных отметок, порядка 5% от общего объема вырезки. Произведем расчет объема вырезки загрязненного балласта. По опытным данным объем вырезки загрязненного балласта зависит от конкретного участка и варьируется 2330-2570 м³/км пути. Для анализа примем среднее значение – 2480 м³/км пути. С учетом излишней вырезки до проектных отметок 5% получим: $139,2 \cdot 2480 \cdot 0,03 = 17260,8 \text{ м}^3$. Для оценки работы автогрейдера переведем объем вырезки в площадь планировки. Средняя толщина вырезки автогрейдера 4 см, следовательно площадь планировки $17260,8 / 0,04 = 431520 \text{ м}^2$.

Стоимость работы автогрейдера по вырезке загрязненного балласта составляет 1934 руб./ч, норма выработки на 0,24 ч на 1000 м², соответственно время планировки $2431520/1000 \cdot 0,24 = 103,56 \text{ ч}$. Итого эффект от сокращения затрат на вырезку загрязненного балласта составит – 0,2 млн. руб./год.

Общий экономический эффект от внедрения новой технологии составит – 1,8 млн. руб./год.

Преимуществами новой технологии являются автоматический контроль точности в режиме реального времени, высокая производительность при окончательной планировке, возможность производить точный контроль в темное время суток с высокой точностью, обеспечение ровности поверхности на всем участке работ.

Выводы: При использовании системы 3D нивелирования iCon Leica Geosystems достижение проектных отметок вырезки по контрольным точкам производится с точностью 2-3 см, при норме – 4 см.

Использование 3D нивелирования iCon Leica Geosystems позволит точно выполнять проектные решения с дискретностью 1 см и исключить человеческий фактор при производстве работ.

Возможностью производить земляные работы в темное время суток является огромным преимуществом над применяемой ныне технологией.

Система iCon Leica Geosystems рекомендуется для использования Западно-Сибирской дирекцией по ремонту пути.

Расчетный экономический эффект от внедрения этой системы – 1,8 млн. руб./год.

В связи с чем, дирекция по ремонту пути планирует закупку комплекта системы iCon Leica Geosystems по инвестпрограмме 2016 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Официальный сайт ООО «ГЕКСАГОН ГЕОСИСТЕМС РУС». -Режим доступа <http://www.navgeocom.ru>. -16.05.2017.

- 2 Навигационные системы отслеживают путь / -Гудок, №204 (25873) от 12.11.2015 г. -8 с.
3 СНиП 32-01-95. Железные дороги колеи 1520 мм: нормативно-технический материал. -М., 1995. -30 с.
4 Распоряжение ОАО «РЖД» №137р от 30.01.2008 г. -М. Рос. жел. дор. -6 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *железнодорожный путь, ремонт, земляные работы, планировка основной площадки, система 3D нивелирования*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Пикалов Александр Сергеевич, канд. техн. наук, начальник сектора, Западно-Сибирская дирекция по ремонту пути*
Величко Дмитрий Валерьевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Севостьянов Александр Александрович, студент ФГБОУ ВПО «СГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Вокзальная магистраль, 14, Западно-Сибирская дирекция по ремонту пути – структурное подразделение Центральной дирекции по ремонту пути – филиала ОАО «РЖД»*
630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

АНАЛИЗ РАЗРУШЕНИЯ БЕРЕГОВОГО СКЛОНА ОБСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ВЕСЕННЕГО ПАВОДКА НА РЕКЕ ОБЬ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Т.В. Пилипенко, А.А. Самшорина

ANALYSIS OF THE DESTRUCTION OF THE COASTAL SLOPE OF THE RESERVOIR DURING THE SPRING FLOOD ON THE OB RIVER

Siberian state university of water transport

T.V. Pilipenko, A.A. Samshorina

In recent years, the flood situation in the Novosibirsk region, in the basins of the upper Ob River, is becoming more and more intense, floods are becoming more intense and more and more residential areas of the region are suffering.

Keywords: reservoir, water level, flood

В последние годы паводковая обстановка в Новосибирской области, в бассейне верхней Оби обостряется все сильнее и сильнее, паводки становятся более интенсивными и страдает все больше жилых территорий области.

Наиболее крупным водоемом в верховьях Оби является Новосибирское водохранилище, образовавшееся после завершения строительства плотины Новосибирской ГЭС на территории Новосибирской области и Алтайского края.

В последние годы паводковая обстановка в Новосибирской области, в бассейне верхней Оби обостряется все сильнее и сильнее, паводки становятся более интенсивными и страдает все больше жилых территорий области.

Вопрос точного заблаговременного прогнозирования приобретает все более актуальный характер, необходима надежная защита территории. Критический уровень воды в реке Обь по данным гидропоста Новосибирск составляет 450 см [1].

На территории Новосибирской области за последние годы страдают от паводка Искитимский, Карасукский, Кочковский, Краснозерский, Маслянинский, Тогучинский, Кыштовский, Северный, Колыванский и Куйбышевский, Ордынский, Искитимский, Советский, Первомайский, Баганский, Барабинский районы.

Половодье в 2017 году продолжалось 87 дней, из них 73 дня Новосибирская ГЭС несла максимальную нагрузку. Всего объём половодья составил 30,1 км³, что выше среднегодовое показателя на 6%, и соответствует показателям прошлого года [2].

По прогнозам специалистов, протекание весеннего половодья в 2017 году предполагалось по среднегодовому сценарию – с двумя пиками водности. Фактически половодье текущего года характеризовалось одним периодом интенсивности. Максимальный показатель притока воды к створу Новосибирской ГЭС был зафиксирован 25-27 апреля – 6010 м³/с. После прохождения пика половодья в районе гидроузла этот показатель пошел на спад, на 31 мая составил 4420 м³/с, в июне снижение притока продолжалось [3].

Плотина Новосибирской ГЭС снизила негативное влияние половодья в Новосибирской области, сдержав в период пика половодья до 22% притока – более четырёх кубокilометров. По оценке специалистов, если этот объём воды не был задержан в водохранилище, уровень подтопления поднялся на 50 см выше.

Одним из актуальных вопросов берегоукрепления сел из-за влияния Новосибирского водохранилища является сохранение Караканского бора. Село Красный Яр Ордынского

района находится в чрезвычайной ситуации из-за размыва берегов Обского водохранилища. Поэтому, в этом году было принято решение о проведении берегоукрепительных работ на территории поселка Красный Яр, так как планируется создание охраняемой зоны в Караканском бору и на территории, прилегающей к Обскому водохранилищу. Под действием течения, волн и эрозии почвы разрушается и обваливается берег. Берег Красного Яра рушится неравномерно, в некоторых местах размывы составляют 3,6 м при уклоне поверхности земли в 15% в сторону водохранилища. Из-за этого на территории села образуются овраги. Согласно данным департамента природных ресурсов Новосибирской области, строительство берегоукрепительных сооружений для села Красный Яр предусмотрено региональной госпрограммой на 2015-2020 года, где возведение сооружений запланировано на 2018 год. Протяженность объекта составит 2,9 км.

За последние годы, на Новосибирском водохранилище достигнут серьезный прогресс в разработке проектов и методах защиты берегов от размыва. Специалисты пришли к выводу, что песчаные и гравийно-галечные пляжи в комплексе с каменными волноломами и свайными бунами – лучший вариант сохранения береговой линии. Согласно Федеральной целевой программе «Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012-2020 годах» на 2017 год запланировано строительство новых берегозащитных сооружений. Наиболее проблемные участки расположены вблизи сел Кирза, Береговое, Красный Яр, Спирино Новосибирской области.



Рисунок – Караканский бор

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Уровень воды в реке Обь сегодня (Новосибирск). -Режим доступа: <https://altaex.ru/info/water/ob-novosibirsk>. -03.07.2017.
- 2 На Новосибирской ГЭС весенне-летнее половодье полностью завершено. -Режим доступа: <http://www.nges.rushydro.ru/press/news/103712.html>. -03.07.2017.
- 3 Верхне-Обское бассейновое водное управление. -Режим доступа: <http://www.vobvunsk.ru/>. -03.07.2017.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водохранилище, уровень воды, паводок

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Пилипенко Татьяна Викторовна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Самшорина Алина Андреевна, магистрант ФГБОУ ВО «СГУВТ»

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

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ СУДОХОДНЫХ ПРОРЕЗЕЙ НА КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКАХ РЕК

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.А. Калашников

PROBLEMS OF DREDGING CUTS STABILITY ESTIMATE IN CURVILINEAR RIVER REACH
Siberian state university of water transport
A.A. Kalashnikov

The article deals with the problem of dredging cuts performance in curvilinear river reach.

Keywords: dredging cuts stability, curve river reach, sediment accumulation

Рассматривается проблема выполнения судоходных прорезей на криволинейных участках рек.

Сложившиеся к настоящему моменту условия производства путевых работ, в том числе дноуглубительных, выдвигают задачу по сокращению объемов дноуглубительных работ в разряд актуальных. Эта задача может быть решена созданием условий, направленных на повышение устойчивости судоходных прорезей.

Повышение устойчивости прорезей позволяет сократить объемы и повторность дноуглубительных работ. Поэтому устойчивость дноуглубительных прорезей имеет важное значение для обеспечения эффективности производства путевых работ. Важной здесь являются проблемы правильного трассирования дноуглубительных прорезей, повышения устойчивости прорезей от заносимости.

Знание процесса заносимости дноуглубительных прорезей имеет серьезное практическое значение. Изучив процесс занесения прорезей, можно разработать способы его прогноза, т.е. получить возможность предсказывать сроки назначения и объема повторных работ, а также становится возможным проектировать прорези устойчивые к занесению, тем самым снижать объемы дноуглубительных работ.

Существующие же на данный момент методы оценки устойчивости прорезей справедливы в основном для прорезей, выполненных на прямолинейных участках рек. В то время как криволинейных участках необходимо использовать план донных течений, который на участках со сложной плановой конфигурацией существенно отличается от плана осредненных по глубине течений, используемый для оценки устойчивости прорези методом баланса наносов.

При этом в настоящее время на речном транспорте и в частности на земснарядах, которые разрабатывают судоходные прорези, широко используются спутниковые навигационные системы.

Использование спутниковых навигационных систем позволяет выполнять не только прямолинейные прорези, но и прорези любого сложного в плане очертания, уходить земснарядам с судового хода и возвращаться в покинутое место производства работ с достаточной для практики точностью (не более 0,5 м).

Наиболее полно проблемы, связанные с безопасностью плавания на криволинейных участках рек и участках со сложным течением, описаны в работе О.И. Гордеева [1].

О.И. Гордеев отмечает, что основными факторами, затрудняющими работу судоводителей на перекатах, являются геометрическая сложность судоходной трассы, ограниченность судового хода по ширине и глубине, большая средняя скорость течения и неблагоприятные для прохождения судов поля скоростей течения. Среди этих факторов особое внимание заслуживают факторы, связанные с неблагоприятными для судоходства и производства путевых работ полям скоростей течения.

В настоящее время в практике работы путевых и научно-исследовательских организаций широко применяются расчетные методы определения скоростей течения на различных участках рек при разработке мероприятий по улучшению судоходных условий и решению гидротехнических задач. Если для прямолинейных участков с плавным изменением русловых форм задача построения поля скоростей является решенной [2], то для криволинейных участков подобная задача становится затруднительной.

Расчет поля скоростей течения на криволинейных участках рек может быть произведен на основе уравнения движения речного потока в криволинейных координатах по методу И.А. Шеренкова [3]. Метод И.А. Шеренкова дает возможность получения планов течений для решения практических задач, связанных с проектированием мероприятий по улучшению судоходных условий на затруднительных участках рек.

Стоит отметить, что во многих случаях на подобных затруднительных участках разрабатываются в основном прорези прямолинейного или кусочно-прямолинейного очертания [4], что приводит к увеличению объемов дноуглубительных работ, в том числе и за счет большей площади разрабатываемого грунта. При этом, как было отмечено выше, возникает проблема оценки устойчивости судоходных прорезей, имеющих сложное плановое очертание, выполненных на криволинейных участках рек. Занесение прорези представляет собою сложный процесс, связанный с транспортом наносов в реке, а через транспорт наносов с условиями движения потока на участках со сложной плановой конфигурацией.

В отличие от механизма заносимости прямолинейных прорезей, заключающегося в надвижении на прорезь русловых форм, превышении расхода наносов, поступающих в прорезь, над транспортирующей способностью потока в прорези, уполноценности боковых откосов, изученность процесса заносимости таких прорезей остается слабой.

Для решения этой проблемы придется решить следующие задачи:

- Провести натурные исследования на криволинейных участках рек.
- Установить факторы заносимости прорезей на таких участках рек.
- Разработать модель процесса заносимости прорезей на криволинейных участках рек и способ выбора конфигурации таких прорезей, повышающей их устойчивость.

Так, для более детального изучения сложившейся ситуации и обобщения накопленного опыта, планируется выполнение натурных исследований при разработке перекатов на участке реки Оби от Новосибирского гидропоста до переката Орско-Борский. При этом планируется проведение следующих работ:

- Получение съемок перекатов;
- Измерение скоростей течения в районе расположения судоходных прорезей;
- Определения уклонов свободной поверхности;
- Измерение твердого расхода взвешенных и влекомых наносов;
- Измерение продольного профиля разработанной траншеи за период времени от окончания разработки: 1 ч; 4 ч; 8 ч; 24 ч; 3 суток;
- Ход уровней за период наблюдений.

Полученные данные позволят оценить точность прогноза заносимости судоходных прорезей с помощью различных методов и наметить пути их усовершенствования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гордеев, О.И. Математическое моделирование движения речных судов для судоводительских тренажеров (грузовые суда и толкаемые составы) / О.И. Гордеев. –Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн.трансп., 1996, -178 с.
- 2 Руководство по расчету деформаций русла и прорезей на перекатах судоходных рек / М-во речн. флота РСФСР. Ленингр. ин-т водн. трансп. -М.: Транспорт, 1965, -148 с.
- 3 Шеренков, И.А. Прикладные плановые задачи гидравлики спокойных потоков / И.А. Шеренков. -М.: Энергия, 1978, -24 с.
- 4 Проектирование судовых ходов на свободных реках // Труды ЦНИИЭВТ. -Вып.36. –М.: Транспорт, 1964, -263 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *устойчивость судоходных прорезей, криволинейные участки рек, заносимость*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Калашников Арсений Александрович, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ КООРДИНАТ ПРИЁМНИКОВ SGN-500 И GP-37 НА ОШВАРТОВАННОМ СУДНЕ

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

Ю.А. Комаровский

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE COORDINATES PRECISION FOR RECEIVERS SGN-500 AND GP 37 AT A VESSEL CHAINED AT THE BERTH

Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
Yu.A. Komarovskiy

Domestic ships are beginning to be equipped with combined receivers SGN-500. These receivers work simultaneously on the signals of GPS satellites and Glonass. To preliminary estimate accuracy of the receiver SGN-500, its coordinates were compared with the coordinates of the receiver GP-37. Experimental observations were made on the ship at the berth. A 2.2-hour transient process was detected after switching on the devices, during which the coordinates of the SGN-500 converge to the coordinates of the GP-37.

Keywords: accuracy of coordinates, convergence of coordinates, GPS/GLONASS receiver, SGN-500, GP-37

На отечественные суда начали устанавливать комбинированные приёмники SGN-500. Они одновременно работают по сигналам спутников GPS и Глонасс. Для предварительной оценки точности приёмника SGN-500 его координаты сравнивались с координатами приёмника GP-37. Экспериментальные наблюдения проводились на стоящем у причала судне. Обнаружен переходной процесс длительностью 2,2 часа после включения приборов, в течение которого координаты SGN-500 сходятся к координатам GP-37.

Восстановление работоспособности отечественной спутниковой радионавигационной системы (СРНС) побудило изготовителей радиоэлектроники к выпуску двухсистемных геодезических и судовых приёмников, одновременно работающих по сигналам Глонасс и Навстар GPS. Такую аппаратуру принято называть GG-приёмниками по первым буквам названий СРНС (GPS/Glonass). Примером подобных приборов служит судовой GG-приёмник SGN-500, изготавливаемый компанией Samsung Enc Co., Ltd (Республика Корея). В последние годы приёмник SGN-500 стал устанавливаться на отечественные суда, так как получил Свидетельство о типовом одобрении Российского морского регистра судоходства и соответствует Резолюции ИМО А.694(17) и Res. MSC/115(73). К сожалению, до настоящего времени отсутствуют достоверные сведения, характеризующие точность определения приёмником SGN-500 обсервованных координат. В Руководстве [1] сообщается, что его точность в автономном режиме работы равна ± 30 м и в дифференциальном режиме ± 10 м. Эти значения показателей точности вызывают сомнения, так как односистемные приёмники других изготовителей характеризуются показателями точности на порядок меньше, нежели у нового двухсистемного 24-канального приёмника SGN-500. Поэтому появилась необходимость проведения самостоятельных экспериментальных исследований с целью установить реальную точность определения обсервованных координат GG-приёмника SGN-500.

Точность определения обсервованных координат спутниковых навигационных приёмников принято оценивать при неподвижной антенне в течение как минимум 10 суток. В этом случае к порту вывода испытуемого прибора подключается компьютер, который непрерывно фиксирует обсервованные координаты и служит для дальнейшей статистической обработки полученного экспериментального материала. Иногда требуется оценить точность координат в движении. Тогда используется дополнительный эталонный приёмник.

Для выполнения экспериментальных наблюдений доступным оказался приёмник SGN-500 с заводским номером 2106334 и версией программного обеспечения 1.07. Этим приёмником было оборудовано патрульное судно Дальневосточного управления государственного морского надзора Федеральной службы по надзору в сфере транспорта. Судно базировалось в гавани яхт-клуба Морского государственного университета (МГУ) им. адм. Г.И. Невельского во Владивостоке. Так как приёмник входил в состав судового навигационного комплекса, то отсутствовала возможность подключения к его выходу компьютера для автоматической записи текущих координат. Поэтому информацию с экрана приёмника пришлось записывать на цифровую видеокамеру с последующим ручным посекундным переформатированием в файлы Excel.

Предварительные наблюдения показали, что координаты ошвартованного судна, опре-

деляемые приёмником SGN-500, почти не изменялись в течение двух часов. Координаты приёмника не изменялись даже при перемещении судна у причала на 5 м. Наблюдения за работой приёмника на ходу показали, что обсервованные координаты начинали изменяться, когда скорость судна превышала 1,9 уз. Подобные свойства судовых СРНС-приёмников не позволяют признать его полезным при швартовках судов, во время стоянки на якорю и во время дрейфа судна. Обсервованные координаты судна приёмник выводит на внешние устройства через порт вывода и на экран через каждую секунду с разрядностью 0,0001'. В ходе предварительных наблюдений оказалось, что в ходе вывода информации на экран имеют место пропуски данных. Эти сбои регистрировались через 13-18 с. Поэтому при обработке полученных данных значения координат, путевого угла и абсолютной скорости, соответствующие моментам сбоев, приходилось интерполировать. Путевой угол выводился до целых значений градуса, а значения абсолютной скорости – с разрядностью 0,1 узла (0,0514 м/с).

Регулярные наблюдения за работой приёмника SGN-500 проводились автором в 2016 году с начала июля до конца сентября. Графики изменения широты и долготы ошвартованного патрульного судна 1 июля представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

На рисунке 1 видно, что за 2,09 часа наблюдений величина обсервованной широты неподвижного патрульного судна изменялась всего 4 раза. Значение обсервованной широты 43°06,1260'N не изменялось в течение 0,91 часа. За время наблюдений 1 июля обсервованная широта изменилась на 0,0025' (4,628 м) к северу.

Анализ графика рисунка 2 позволяет сделать вывод о схожести характера изменения долготы и широты. Их величины изменялись в наблюдениях 1 июля 2016 года в одни и те же моменты времени. Как показали результаты обработки наблюдений других дней, изменение обсервованных координат на стоянке носило такой же характер, но подобная синхронность имела место не всегда. В наблюдениях 1 июля величина обсервованной долготы изменилась к западу на 0,0072' (9,766 м). Таким образом, за 2,09 часа наблюдений обсервованное место ошвартованного патрульного судна сместилось на 10,8 м к северо-западу.

Так как обнаруженный характер изменения координат неподвижной антенны приёмника SGN-500 не наблюдался ранее у других судовых СРНС-приёмников, то было принято решение продолжить экспериментальные наблюдения на ошвартованном патрульном судне с привлечением GPS-приёмника GP-37. Характеристики точности приёмника GP-37 ранее были определены на базе пункта «Владивосток» фундаментальной астрономо-геодезической сети. Поэтому GP-37 использовался как опорный приёмник для сравнительного анализа точности приёмника SGN-500. Синхронные наблюдения за работой двух приёмников проводились 22, 23 и 26 сентября. В эти дни на патрульном судне дополнительно устанавливался приёмник GP-37, работавший по сигналам дифференциальной станции мыса Поворотный. Фазовый центр его антенны размещался на одном уровне с фазовым центром антенны SGN-500 на расстоянии между ними 0,92 м. Информация, генерируемая приёмником GP-37, автоматически записывалась на жёсткий диск ноутбука. Оба приёмника определяли координаты

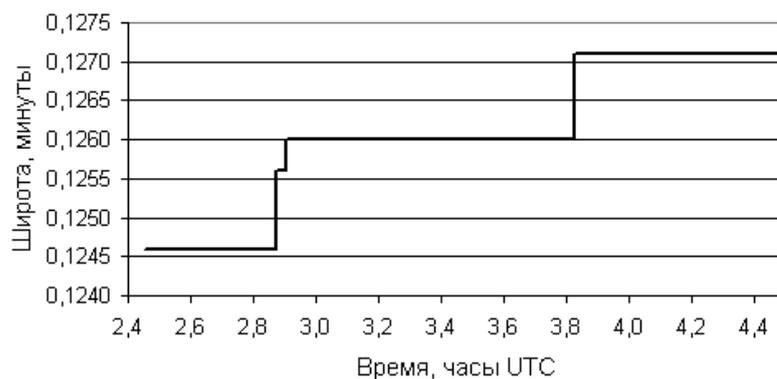


Рисунок 1 – График изменения широты ошвартованного судна 1 июля 2016 года

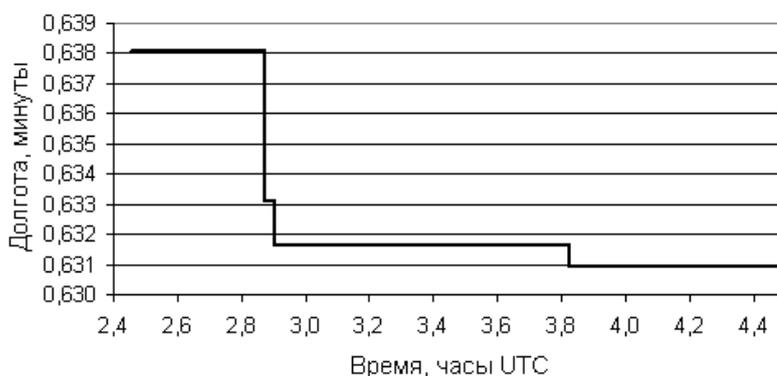


Рисунок 2 – График изменения долготы ошвартованного судна 1 июля 2016 года

наты в системе WGS-84.

На рисунках 3-5 можно видеть графики изменения координат приёмников SGN-500 и GP-37, полученные по результатам обработки экспериментальных наблюдений, предпринятых на патрульном судне в гавани яхт-клуба МГУ 22, 23 и 26 сентября 2016 года. На этих рисунках нижние графики, отличающиеся присутствием шумовой составляющей, отражают изменение координат приёмника GP-37.

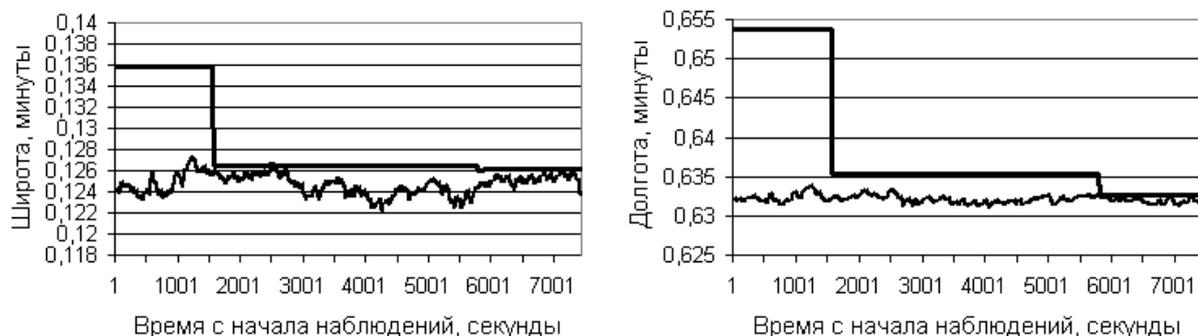


Рисунок 3 – Графики изменения координат приёмников 22 сентября 2016 года

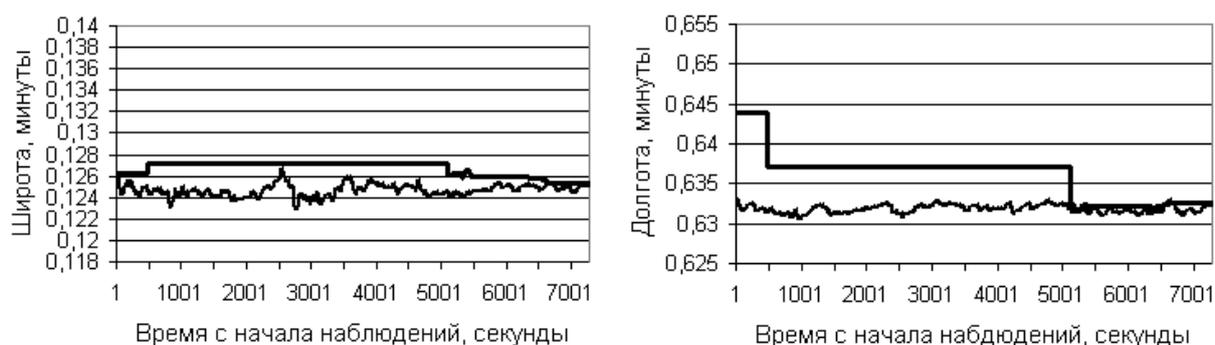


Рисунок 4 – Графики изменения координат приёмников 23 сентября 2016 года

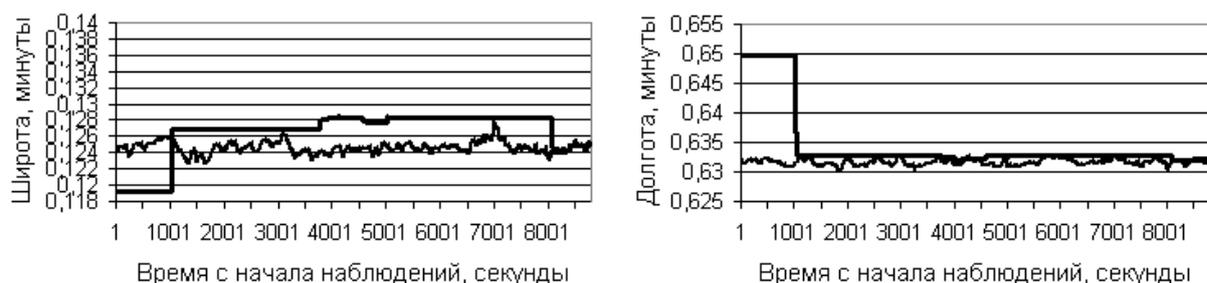


Рисунок 5 – Графики изменения координат приёмников 26 сентября 2016 года

Таблица – Сравнение усреднённых координат приёмников SGN-500 и GP-37

Приемник	22 сентября		23 сентября		26 сентября	
	φ_{cp}	λ_{cp}	φ_{cp}	λ_{cp}	φ_{cp}	λ_{cp}
SGN-500	0,1261	0,6327	0,1254	0,6327	0,1241	0,632
GP-37	0,1252	0,6319	0,1249	0,6318	0,1246	0,6317
Разность, мин	-0,0009	-0,0005	-0,0005	-0,0009	0,0005	-0,0003
Разность, м	-1,666	-1,085	-0,925	-1,221	0,925	-0,407

Сравнение между собой графиков позволяет сделать вывод о сближении координат приёмника SGN-500 к координатам приёмника GP-37 в конце каждого экспериментального наблюдения. В начале наблюдений координаты приёмников значительно разнятся. Следовательно, на стоянке точность определения координат приёмником SGN-500 целесообразно оценивать только после окончания переходного процесса, который длится 2,2 часа после включения прибора.

Дальнейший анализ точности координат проводился на тех конечных интервалах времени наблюдений, на которых координаты приёмника SGN-500 сходились к координатам приёмника GP-37. Результаты сравнения координат на конечных интервалах наблюдений помещены в таблицу. В ней усреднённые координаты представлены дробными частями минут. Разность получена вычитанием координат приёмника SGN-500 из координат GP-37.

Используя данные таблицы, были рассчитаны расстояния между фазовыми центрами антенн приёмников. Расстояние в наблюдениях 22 сентября составляло 1,9 м, 23 сентября – 1,5 м и 26 сентября – 1 м. Эти результаты незначительно отличаются от реального расстояния – 0,92 м. Здесь также надо учесть неизбежные незначительные перемещения патрульного судна под действием ветра и волнения, так как во время наблюдений оно было ошвартовано носом к причалу. Поэтому усреднённые координаты GP-37 также будут отличаться от соответствующих им координат приёмника SGN-500. Следовательно, сравнительный анализ точности координат приёмника SGN-500 для достижения максимальной достоверности результатов необходимо проводить при неподвижных антеннах приёмников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Руководство по установке и эксплуатации GPS/Glonass приёмника SGN-500. Samyung Enc Co., Ltd. -Пусан, 2015. -56 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *точность координат, сходимост ь координат, GPS/GLONASS-приёмник, SGN-500, GP-37*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, консультант ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ СУДНА ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ПРИЁМНИКОМ GPS LEICA 1220 GG

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

Ю.А. Комаровский

MEASURING THE VESSEL SPEED BY A GEODETIC GPS RECEIVER LEICA 1220 GG

Maritime state university named after G.I. Nevelskoi
Yu.A. Komarovskiy

We have performed a comparative analysis of the accuracy of determining the absolute speed of a ship by a geodetic GPS receiver. The processing of the experimental material obtained during observations of the operation of the GSP receiver Leica 1220GG, made it possible to conclude that a higher accuracy of the speed determined by the receiver was achieved in the process of Doppler measurements of satellite signals. By contrast, the determination of the speed by the increments of coordinates is accompanied by the appearance of significant errors due to malfunctions accompanying the phases of the carrier frequencies of the satellites.

Keywords: speed over ground, increment of coordinates, GPS/GLONASS receiver, error of speed

Выполнен сравнительный анализ точности определения геодезическим GPS-приёмником абсолютной скорости судна. Обработка экспериментального материала, полученного в ходе наблюдений за работой приёмника Leica 1220GG, позволила сделать вывод о большей точности скорости, определяемой приёмником в процессе доплеровских измерений сигналов спутников. Определение скорости по приращениям координат сопровождается появлением значительных погрешностей из-за сбоев при сопровождении фаз несущих частот спутников.

До наших дней сохраняется нерешённой проблема легализации применения судовых приёмников спутниковых радионавигационных систем (СРНС) в качестве датчиков абсолютной скорости и проходимого расстояния вместо традиционных лагов [1]. Здесь требуются обширные экспериментальные наблюдения с целью получения достоверных оценок точности и надёжности измерения абсолютной скорости судовыми СРНС-приёмниками. Большую часть исследований можно провести в судовых условиях с параллельно работающими СРНС-приёмниками, один из которых заведомо точнее других. Такой эксперимент был предпринят автором в сентябре 2008 года на грузопассажирском пароме «Бригадир Ришко» во время рейса на о. Попова. На время рейса на паром установили судовой приёмник СРНС Навстар GPS GP-37, изготовленный японской компанией Furuno, и геодезический приёмник GPS 1220GG компании Leica (заводской номер 469724). Буквы GG означают, что данный приёмник работает одновременно по сигналам СРНС Навстар GPS и Глонасс. Приёмник GP-37 работал в дифференциальном режиме, принимая корректирующую информацию

DGPS-станции мыса Поворотного залива Находка. Данные от приёмников в виде предложений в формате NMEA 0183 синхронно автоматически каждую секунду записывались на жёсткий диск одного ноутбука. Расстояние между антеннами приёмников составляло 1 м.

На диск ноутбука помимо отсчётов времени записывались текущие координаты, а также направление вектора абсолютной скорости – COG (Course Over Ground) и модуль вектора абсолютной скорости – SOG (Speed Over Ground). С выхода приёмника GP-37 величины COG и SOG выводились с разрядностью 0,1 градуса и 0,1 узла. Приёмник GPS 1220GG транслировал COG и SOG с разрядностью 0,01 градуса и 0,01 км/ч. Поэтому GPS 1220GG условно принимался в качестве эталонного прибора. Как следует из анализа результатов обработки экспериментальных данных, средняя разность между соответствующими значениями SOG GP-37 и GPS 1220GG не превышала 0,000819 м/с при среднем квадратическом отклонении (СКО) $\pm 0,0197$ м/с [2]. По этой причине судовой GPS-приёмник GP-37 можно рассматривать в качестве высокоточного прибора в экспериментах по исследованию погрешностей измерения модуля абсолютной скорости СРНС-приёмников других типов.

Геодезические приёмники определяют текущие обсервованные координаты в процессе обработки фаз принимаемых сигналов, а компоненты вектора абсолютной скорости вычисляются по результатам доплеровских измерений [3]. Приёмник GPS 1220GG на внешние устройства выводит обсервованные координаты с разрядностью 0,00001 угловой секунды и модуль скорости с разрядностью 0,01 км/ч (0,0054 уз, 0,00277 м/с). Поэтому возникает задача сравнения точности геодезического приёмника при определении им модуля скорости по приращениям обсервованных координат (ПОК) и по SOG. Цель данной статьи заключается в получении статистических характеристик точности модуля скорости, определяемого приёмником GPS 1220GG по ПОК и по SOG, в экспериментах 2008 год.

Информация, выводимая приёмником GPS 1220GG на внешние устройства, обновляется строго через 1 с. Пусть индекс i будет указывать на момент времени, в который сформированы и посланы на внешние устройства координаты и SOG. Обозначим через s_i скорость в м/с, полученную по соответствующей величине SOG,

$$s_i = \text{SOG}_i \cdot 0,2777777.$$

Обозначим через v_i скорость в м/с, полученную по приращениям обсервованных координат

$$v_i = \sqrt{[(\varphi_i - \varphi_{i-1})\ell_m]^2 + [(\lambda_i - \lambda_{i-1})\ell_p]^2},$$

- где φ – геодезическая широта, выраженная в угловых минутах;
 ℓ_m – длина дуги одной минуты меридиана, выраженная в метрах;
 λ – геодезическая долгота, выраженная в угловых минутах;
 ℓ_p – длина дуги одной минуты параллели

$$\ell_m = \frac{a(1-e^2)\text{arc}1'}{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 \varphi_r)^3}}; \ell_p = \frac{a \cos \varphi_r \text{arc}1'}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi_r}},$$

- a – большая полуось данного референц-эллипсоида, выраженная в м;
 e – первый эксцентриситет данного референц-эллипсоида;
 φ_r – текущее значение геодезической широты судна, выраженное в градусах;
 $\text{arc}1' = 0,000290888208$.

Из приведённых формул следует, что у некоторых GPS-приёмников в высоких широтах проходимые судном расстояния, вычисленные по s_i и по v_i , могут не совпадать из-за отсутствия в их алгоритмах учёта неравенства длины морской мили и длины дуги одной минуты меридиана [4].

Во время рейса парома 5 сентября 2008 года были выполнены регистрации скорости и координат двух переходов: между мысом Створный (о. Русский) и мысом Низкий (о. Попова) и обратно. Результаты вычислений статистических характеристик случайных величин s_i и v_i на переходе от мыса Створный до мыса Низкий помещены в таблицу 1.

Величины средних скоростей отличаются на 0,002868 м/с. Это согласуется с превосходящим на 7,921 м расстоянием, пройденным паромом по показаниям скорости SOG. Сравнивая величины СКО и размаха варьирования, можно сделать предположение о большей дисперсии величин скорости, рассчитанной по технологии ПОК. Положительная величина

асимметрии распределения скорости ПОК является показателем скошенности влево (в сторону меньших значений) плотности распределения. Крайне большую островершинность распределения скорости ПОК, подтверждаемую величиной эксцесса, следует объяснить возможным присутствием слишком больших отклонений. О характере изменения скорости ПОК и SOG на первом переходе парома можно судить по графикам на рисунке 1.

На левой панели рисунка 1 видны значительные отклонения величин скорости, рассчитанной по приращениям за одну секунду обсервованных координат геодезического приёмника Leica GPS 1220GG. На графике изменения секундной скорости, вычисленной по величинам SOG (правая панель), таких отклонений нет. Это является причиной больших величин СКО и размаха варьирования скорости ПОК. Присутствие значительных отклонений на графике левой панели можно объяснить сбоями в сопровождении фаз сигналов спутников приёмником GPS 1220GG, что было обнаружено и описано в работе [5]. На графиках обнаруживается одинаковый характер изменения тренда скорости парома. На обеих панелях видно, что по мере приближения к о. Попова скорость парома замедляется с синхронно возникающими низкочастотными отклонениями.

Таблица 1 – Статистические характеристики распределения скорости на переходе от мыса Створный до мыса Низкий

Характеристика	ПОК	SOG
Средняя скорость, м/с	4,483501	4,486369
Среднее квадратическое отклонение, м/с	±0,0744	±0,0514
Асимметрия	0,305	- 0,253
Эксцесс	66,68	- 0,16
Минимальная скорость, м/с	3,35247	4,35555
Максимальная скорость, м/с	5,77619	4,62222
Размах варьирования, м/с	2,42372	0,26667
Пройденное расстояние, м	12383,43	12391,35
Объём выборки	2762	2762

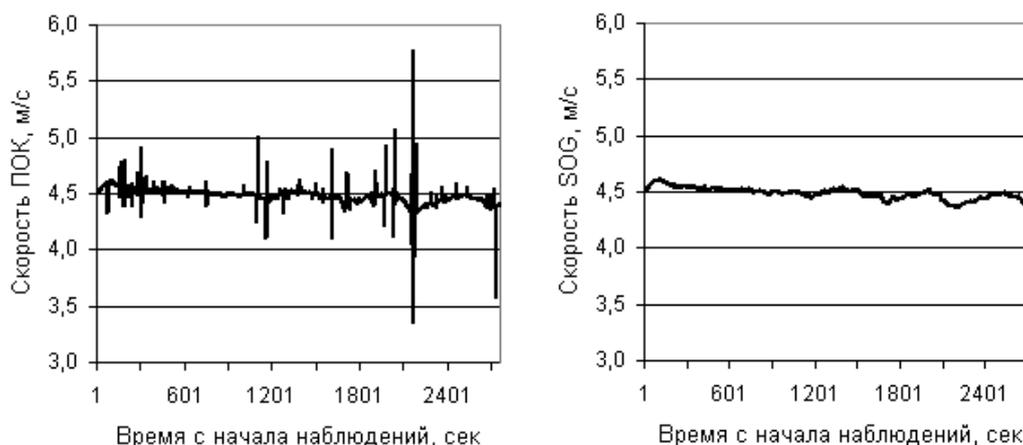


Рисунок 1 – Изменение скорости парома по приращениям координат (слева) и по SOG на переходе от мыса Створный до мыса Низкий

Результаты оценок распределения скоростей парома во время возвращения его во Владивосток представлены в таблице 2.

Как следует из таблицы 2, средние скорости отличаются на 0,000256 м/с. Это почти в 10 раз меньше разницы скоростей на предыдущем переходе. По-прежнему средняя скорость SOG превосходит среднюю скорость ПОК.

Поэтому по отсчётам SOG между м. Низкий и м. Створный за 2615 с паром прошёл на 0,68 м больше, что составило 0,0054% от пройденного расстояния. Средняя скорость на переходе из Владивостока меньше средней скорости на обратном пути из-за течения, направленного на северо-восток. Следует отметить практически одинаковые значения

Таблица 2 – Статистические характеристики распределения скорости на переходе от мыса Низкий до мыса Створный

Характеристика	ПОК	SOG
Средняя скорость, м/с	4,696856	4,697112
Среднее квадратическое отклонение, м/с	±0,0527	±0,0522
Асимметрия	0,229	0,263
Эксцесс	0,350	0,084
Минимальная скорость, м/с	4,47074	4,53055
Максимальная скорость, м/с	4,96357	4,84444
Размах варьирования, м/с	0,49283	0,31389
Пройденное расстояние, м	12282,27	12282,95
Объём выборки	2615	2615

СКО, а также уменьшение почти в 5 раз размаха варьирования скорости ПОК при возвращении парама во Владивосток.

Закономерности изменения скорости ПОК и SOG при возвращении парама можно также наблюдать на рисунке 2.

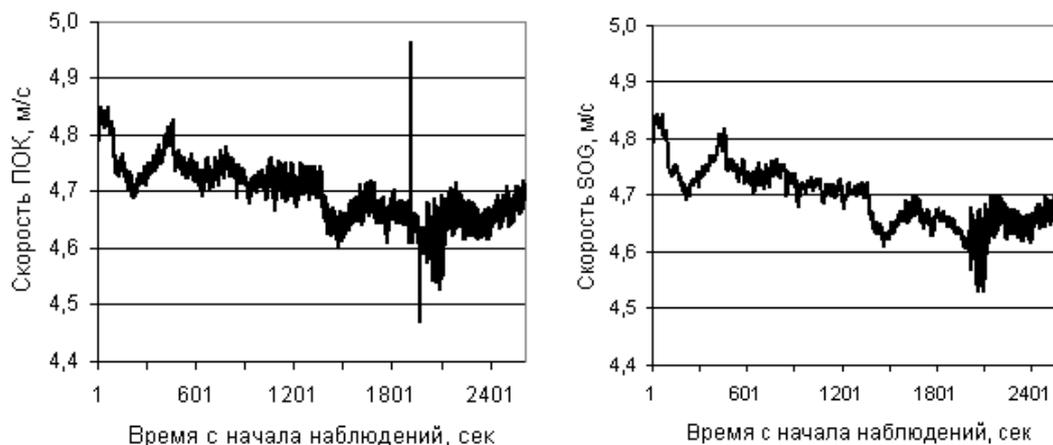


Рисунок 2 – Изменение скорости парама по приращениям координат (слева) и по SOG на переходе от мыса Низкий до мыса Створный

За время движения во Владивосток были зарегистрированы всего лишь два выброса скорости ПОК. Объяснить этот факт можно тем, что при возвращении паром двигался на попутной волне от южного ветра. Когда же паром шёл на о. Попова, то имело место встречное волнение. Высота волны была менее 0,5 м. При движении из Владивостока волна вызывала едва заметную килевую качку, но этого было достаточно, чтобы вызывать частые сбои сопровождения фаз сигналов спутников, что приводило к броскам обсервованных координат. Измерения скорости SOG лишены такого недостатка.

На графике левой панели рисунка 2 можно видеть, как по мере приближения к проливу Босфор Восточный возрастает амплитуда шумовой составляющей скорости ПОК. С 2023 секунды наблюдений амплитуда шума возрастает не только на графике скорости ПОК, но и на графике скорости SOG правой панели. Наибольшие амплитуды высокочастотных отклонений скоростей ПОК и SOG наблюдались с 2023 секунды по 2130 секунду. Следовательно, в этот промежуток времени в эфире имело место внешнее воздействие на приёмник Leica GPS 1220GG, одинаково влияющее как на сопровождение фаз сигналов спутников, так и на доплеровские измерения.

Подводя итог проделанному анализу, необходимо сделать следующие заключения.

– Геодезические приёмники можно использовать в качестве измерителей абсолютной скорости судна. При этом для определения пройденного расстояния, а также для получения числимых координат разумнее использовать отсчёты скорости SOG.

– В геодезическом приёмнике GPS 1220GG величины скорости, полученные в ходе доплеровских измерений, более устойчивы по сравнению с величинами скорости, полученными по приращениям обсервованных координат.

– Измерения судовыми GPS-приёмниками скоростей SOG менее 0,05 м/с сопровождаются значительным ухудшением точности. Геодезические GPS-приёмники определяют обсервованные координаты с высокой разрядностью, обеспечивающей точность на уровне 1 см. Поэтому определение малых скоростей плавно движущихся платформ целесообразно с помощью геодезических приёмников по приращениям обсервованных координат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Комаровский, Ю.А. Анализ проблемы оценки точности измерения скорости судовым GPS-приёмником / Ю.А. Комаровский // -Транспортное дело России. Спец. выпуск. -2005. -№3. -С. 103-108.
- 2 Кац, В.А. Применение геодезического GNSS-приёмника для оценки точности измерения скорости судовым GPS-приёмником / В.А. Кац, Ю. А. Комаровский // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2013. -№2. -С. 146-150.
- 3 Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: Монография / Антонович, К.М. - Т.1. -М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2006. -334 с.
- 4 Комаровский, Ю. А. Повышение точности учёта пройденного судном расстояния / Ю.А. Комаровский // Судовождение-2012: сб. научн. тр. Новосиб. гос. акад. водн. трансп. Под ред. В.И. Сичкарёва. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2012. -С. 67-72.
- 5 Комаровский, Ю.А. Сравнительный анализ точности определения координат судовым и геодезическим GPS-приёмниками на малоподвижном судне / Ю.А. Комаровский // Вестник Морского государственного университета. Серия Судовождение.

вождение. -Вып. 62. -Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013. -С. 71-76.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: абсолютная скорость, приращение координат, GPS/Глонасс-приёмник, погрешность скорости
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, консультант ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПРЯМОГО ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ПО РАЗНОСТЯМ ВЫСОТ И АЗИМУТОВ СВЕТИЛ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

В.И. Сичкарев, М.М. Барбашев

PROGRAMMING OF THE DIRECT CALCULATION OF THE COORDINATE FOR DIFFERENTIAL HEIGHT AND AZIMUTE DIFFERENCES

Siberian state university of water transport
 V.I. Sichkarev, M.M. Barbashev

Development of a computer program for calculating coordinates using a direct calculation algorithm. The algorithm was tested using a program. The directions of the further development of the algorithm are determined.

Keywords: development of a computer program, direct calculation algorithm

Дана информация о разработке компьютерной программы расчёта координат по алгоритму прямого вычисления с использованием астронавигационных параметров, разности высот и азимутов светил. С помощью программы проведено тестирование алгоритма и выявлены направления его совершенствования.

Резервные методы судовождения отличаются от штатных тем, что их приходится применять в экстренных и аварийных условиях, когда судоводитель может не иметь доступа к обычным бумажным и табличным или электронным источникам астронавигационной информации. Хорошим выходом из этой сложной ситуации могла бы быть полная автоматизация астронавигационного определения места судна.

Для ее реализации необходима разработка компьютерных программ, которые основываются на вычислительных алгоритмах. Одним из таких алгоритмов, реализующих метод прямого вычисления координат обсервованного места по измеренным модернизированным секстаном с поворотным большим зеркалом [1] разностям высот и азимутов светил, является алгоритм [2].

Преимущества алгоритма прямого вычисления координат перед, например, алгоритмом линий положения заключается в том, что он не требует для расчёта обсервованных координат использования счислимой точки.

Она используется лишь в качественном виде, в основном для сравнения вариантов ответов. По этой причине алгоритм прямого вычисления [2] использован для составления компьютерной программы расчёта обсервованных координат.

Программа составлена в среде программирования VISUAL BASIC.

Установка программы на компьютер не требуется. После запуска программы на экране открывается главное окно программы (рисунок 1).

Для работы в программе необходимо ввести следующие исходные данные:

- разность азимутов светил А и В;
- разность высот светил А и В;
- склонение светила А;
- склонение светила В;
- звездное дополнение светила А;

	Разность азимутов	Разность высот	Склонение светила А	Склонение светила В	Звездное дополнение светила А	Звездное дополнение светила В	Положение точки Овна	Расчитать Склонение	Справка
Целая часть	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="button" value="Расчитать сумму"/> <input type="button" value="Задать взаимное положение светил"/> <input type="button" value="Расчитать координаты"/>					
Дробная часть	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>						
Сумма	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>						
Широта счислимая=	<input type="text"/>		Широта=	градусов	Долгота=	градусов			

Рисунок 1 – Главное окно программы

- звездное дополнение светила В;
- положение точки Овна.

Для вычисления параллактического угла необходимо ввести тип геометрического соотношения между положением светил, зенита и полюса, выбираемой из рисунка 2.

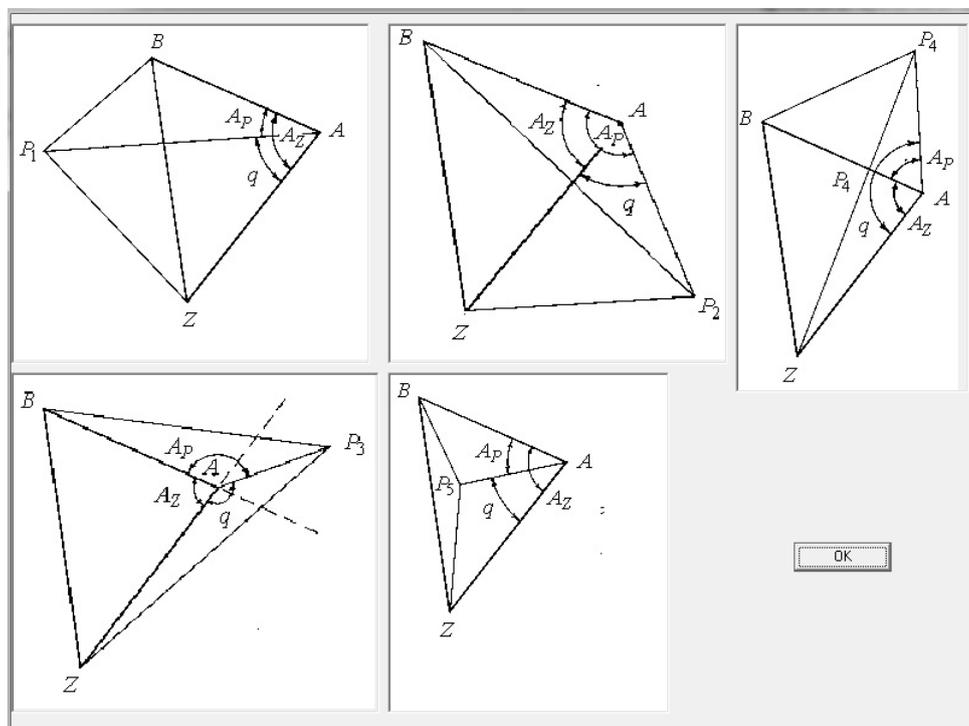


Рисунок 2 – Экран выбора варианта взаимного расположения светил и полюса

Вычислительный процесс начинается по нажатию на кнопку «Рассчитать координаты». В результате в окнах «Широта» и «Долгота» появляется ответ в виде координат обсервованного места.

Работоспособность программы проверена на нескольких примерах с заданными координатами места наблюдателя, наблюдаемыми светилами, для которых обычными методами мореходной астрономии рассчитаны высоты и азимуты светил, а потом вычислены их разности, введенные в программу как исходные данные. Результаты проводимых расчётов показали хорошую точность работы алгоритма и программы.

Далее, с помощью отлаженной программы проведено тестирование алгоритма для различных взаимных расположений светил и положения точки Овна, которые задавались путем подбора светил по установленному на время наблюдений звездному глобусу. Обнаружилось, что в некоторых случаях алгоритм не рассматривает возможного взаимного расположения светил, зенита и полюса. Это относится к случаям взаимного расположения светил, симметрично рассмотренному в [2].

Кроме того, обнаружилось, что в некоторых случаях разность звездных дополнений зенита и верхнего светила $\Delta\tau_{ZA}$ может оказаться больше 90° , поскольку в [2] расчёт $\Delta\tau_{ZA}$ ведется по формуле котангенсов, в этом случае начинает проявляться свойство этой функции, реализующееся в вычисленных алгоритмах ЭВМ: вместо углов α во второй четверти ($90^\circ < \alpha < 180^\circ$) вычислительный алгоритм выдает отрицательное значение аргумента $0^\circ > \alpha' > -90^\circ$. Поэтому желательно перейти в вычислениях $\Delta\tau_{ZA}$ от функции котангенса к функции косинуса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Секстан: патент на изобретение №2523100 МПК G01C 1/08 (2006.01) / В.И. Сичкарев. 28.02.2013.
- 2 Сичкарев, В.И. Аналитическое определение места судна по наблюдениям разностей высот и разностей азимутов двух светил / В.И. Сичкарев // Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2012. -№1. -С. 210 -215.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: разработка компьютерной программы, прямой алгоритм расчета
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Сичкарев Виктор Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Барбашев Михаил Максимович, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

АНАЛИЗ МЯГКОБОЛОЧЕЧНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТОРЦОВЫХ ЗАКРЫТИЙ ДОКОВ

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм.
Г.И. Невельского»

А.И. Заводовская

ANALYSIS OF THE SOFT-COVERING COMBINED CONSTRUCTIONS OF THE DOCK END CLOSINGS

Maritime state university named after G.I.Nevelskoi

A.I. Zavodovskaia

In the article the analysis fulfilled concerning construction diagrams of the floating dock combined wind-proof end closings made of flexible materials and given a qualitative estimation of their operation in the complicated weather conditions.

Keywords: ship repair, floating dock, wind-proof end closing, soft cover, polymeric-coating fabric

Выполнен анализ конструктивных схем ветрозащитных закрытий торца плавучего дока из гибких материалов и дана качественная оценка их работы в сложных природных условиях.

Благодаря возможностям, предоставляемым тканями с полимерным покрытием, всё большее распространение в судоремонте получают мягкооболочечные конструкции. За последнее десятилетие созданы новые материалы на полимерной, керамической и металлической основах, отличающиеся высокой прочностью и малой удельной массой.

Особенности такого класса конструкций накладывают свой отпечаток на создание методики расчета при их проектировании. В связи с этим, для того, чтобы судить о приемлемости методологических подходов и существующих расчётных методов, установить необходимость их корректировки, дополнения и выработки новых подходов, требуется знать конструктивные характеристики изучаемых конструкций.

Анализ конструктивных схем мягкооболочечных комбинированных торцовых закрытий плавучих доков, особенностей их работы и условий эксплуатации позволяет определить свойства гибких полотнищ, которые необходимо учитывать при исследовании их напряжённо-деформированного состояния. Такой анализ можно провести по имеющимся сведениям, опубликованным в периодических изданиях технической литературы, патентах, а также в руководящих документах, например РД 31.83.06-83 «Рекомендации по выбору типа, количества и расположения ветрозащитных устройств на плавучих доках» [1].

На выбор типа и эффективность торцовых закрытий влияет ряд факторов, которые можно классифицировать по разным признакам (рисунок 1). Эффективность ветрозащитных закрытий определяется их расположением, конструктивными особенностями доков, соотношением размеров дока, характером доковых постановок и другими факторами.

Указанные факторы позволяют сформулировать основные конструктивно-технологические требования к торцовым закрытиям плавучих доков, которые должны:

- обеспечить снижение скорости ветра по всей длине дока;
- быть безотказными в период проведения доковых операций;
- быть механизированными, позволяющими быстро производить их демонтаж для ввода/вывода судов;
- отвечать требованиям прочности и достаточной долговечности, иметь необходимую ремонтпригодность;
- быть лёгкими и иметь как можно меньшую парусность в целях минимального давления на них от ветра;
- не препятствовать поступлению воды в междубашенное пространство при погружении и стоку её при всплытии дока;
- препятствовать проникновению битого плавающего льда в док в процессе его погружения и др.

Анализ комбинированных торцовых закрытий из гибких материалов проводился в направлении выполнения сформулированных конструктивно-технологических требований.

Задачу увеличения пролётов мягкооболочечных висячих закрытий решают путём введения в их конструкцию стабилизирующих элементов. Использование канатов и сетей позволяет передать им основные силовые функции, а оболочку разгрузить, предоставив ей роль ограждения и выполнения локальных силовых функций только в пределах межтросовых ячеек. Канаты из стали и синтетических волокон позволяют во много раз увеличить про-

лётыв устройства. В то же время требования к прочности тканевых материалов оболочки могут быть существенно снижены.

Примером мягко-оболочечного комбинированного закрытия является закрытие торцов дока [2]. Оно выполнено в виде шторы (рисунок 2), включает в себя сетку из синтетического материала 1 с окантовкой эластичным канатом с коушами 2 на углах и с ячейками, образованными нитями 3. На нитях 3 ячейки закреплены по части контура 4 участки 5 покрытия, которые размещены вплотную друг к другу по высоте и ширине по обеим сторонам сетки в шахматном порядке с каждой стороны. Участки покрытия выполнены из непрозрачного эластичного материала и однотипно закреплены на сетке по части контура 4, образуя неподвижную 6 и подвижную 7 части, разделяемые линией перегиба 8.

При использовании двух и трех слоев закрытия (рисунок 2в) с зазорами между слоями не меньшими, чем длина свободного края участка, и со смещением центров тяжести соответствующих участков по высоте или ширине на 0,25-1,0 размера участка, уменьшается общая прозрачность закрытий, увеличивается сопротивление воздушному потоку. При этом эффективность закрытия в целом повышается.

Повышение надежности и долговечности достигается за счет выполнения покрытия разрезным из отдельных участков одинаковой геометрической формы и размеров и размещения этих участков в шахматном порядке на обеих сторонах сетки. Благодаря этому незакрепленные части участков, находящиеся на одной стороне сетки относительно ветра, выполняют роль постоянно открытых клапанов, а находящиеся на другой стороне сетки – постоянно закрытых клапанов.

Предложенное С.А. Огай, В.В. Малышкин ветрозащитное закрытие торца дока, имеющего кринолин [4], также содержит гибкое полотнище из эластичного воздухопроницаемого материала, армированное вертикальными и горизонтальными канатами (рисунок 3). Кон-



Рисунок 1 – Классификация факторов

струкция удерживается на торце дока с помощью несущего каната 4, натянутого между башнями дока 5 с помощью доковых шпиль 6, установленных на топ-палубе дока.

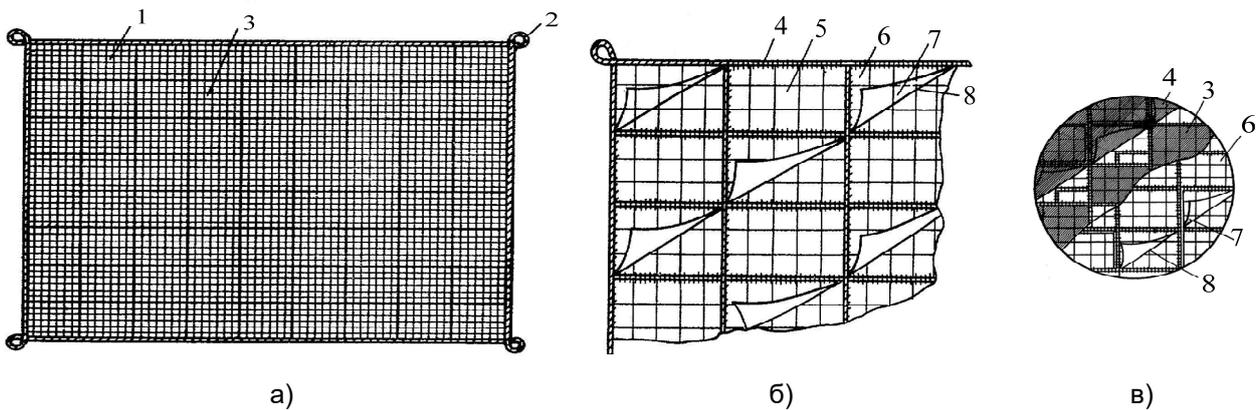


Рисунок 2 – Висячее комбинированное ветрозащитное закрытие торцов дока: а)-элемент закрытия-сетка; б)-фрагмент-сетка с участком покрытия; в)-вид двух закрытий со смещениями центров тяжести участков покрытий по высоте и ширине на 0,5 размера

Для повышения надежности закрытие снабжено грузами 9, закреплёнными к нижним концам вертикальных 2 армирующих канатов ниже уровня воды, которые пропущены через клюзы 8 (отверстия), выполненные в кринолине 7 дока. Вертикальные и горизонтальные 3 армирующие канаты образуют ячеи, на которых закреплены отдельные модули полотнища 1. При воздействии на торцовое закрытие ветрового напора с внешней стороны торца дока, в полотнище возникают внутренние усилия. Грузы перемещаются в водной среде с определенным ускорением и работают как демпфирующее устройство.

В этом случае нарастание прогиба полотнища плавное, что исключает возникновение динамических хлопков полотнища и, следовательно, возникновение в полотнище больших разрывных внутренних усилий.

После прекращения действия ветрового порыва полотнище возвращается в исходное вертикальное состояние под действием веса демпфирующих грузов.

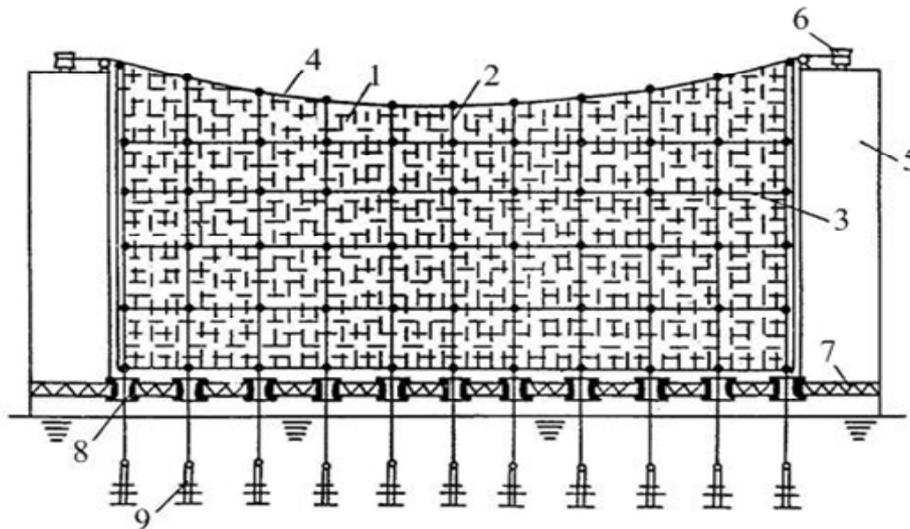


Рисунок 3 – Комбинированное ветрозащитное закрытие торца дока с кринолином: 1-гибкое полотнище; 2,3-вертикальные и горизонтальные канаты; 4-несущий канат; 5-башни дока; 6- доковые шпиль; 7-кринолин; 8-клюзы; 9-груз

Изготовленные в Морском государственном университете им. адм. Г.И. Невельского на основе патента [3] ветрозащитные закрытия, состоящие из эластичных клапанов, закреплённых на вертикальных и горизонтальных тросах (рисунок 4), являются проницаемыми для набегающего ветрового потока и обеспечивают эффективную защиту от ветра за счёт формирования восходящего потока воздуха. Закрытие закреплено на металлических тросах, на-

тянутых на уровне топ-палубы и стапель палубы между башнями на рабочем торце дока.

Клапаны из эластичного воздухонепроницаемого материала имеют одинаковый размер и раскройную форму в виде трапеции. Верхняя кромка клапана остаётся незакреплённой, длина её больше расстояния между вертикальными тросами. На боковых кромках клапана с заданным шагом выполнены отверстия. Клапаны соединены между собой двойным стежком фала.

На основе экспериментальных исследований получены закономерности для границ ветровой тени и зоны комфортности за ветрозащитным закрытием [5].

В период с 1993 г. по 2005 г. было изготовлено семь таких ветрозащитных закрытий, которые были установлены в доках Дальневосточных заводов, включая Владивосток, в том числе на Дальзаводе и на 178-м Судоремонтном заводе.

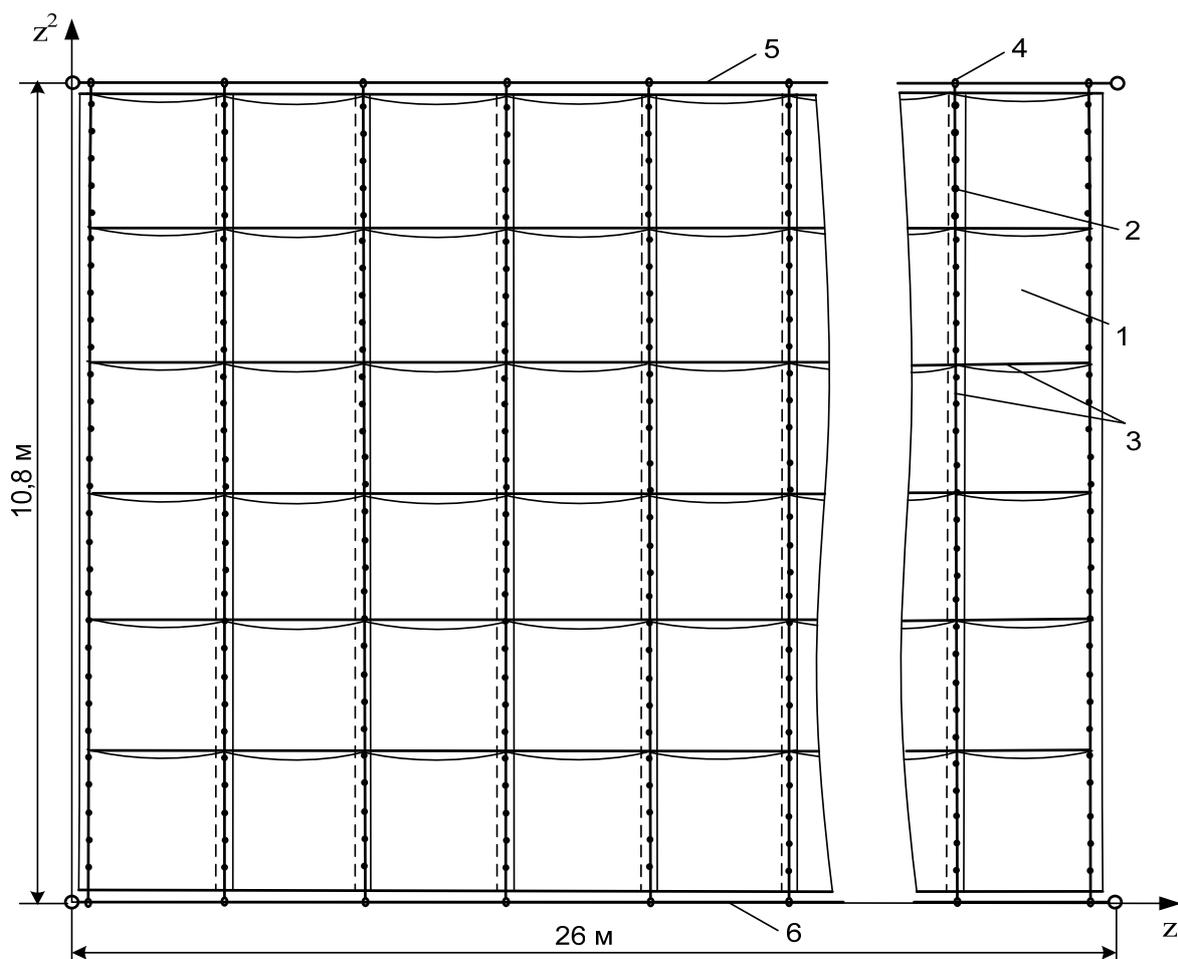


Рисунок 4 – Конструктивная схема большепролётного проницаемого ветрозащитного закрытия: 1-клапан; 2-отверстия; 3-мягкие тросы; 4-разъёмные соединения; 5-верхний трос; 6-нижний трос

Опыт эксплуатации показал, что данная конструкция проницаемого ветрозащитного закрытия является наиболее эффективной конструкцией этого типа, так как обладает наилучшими ветрозащитными качествами, существенно улучшает микроклимат в доках, имеет небольшую массу, себестоимость, обладает хорошей ремонтопригодностью, проста и надёжна в эксплуатации [6]. Использование современных тканей с полимерным покрытием позволило успешно эксплуатировать закрытие на протяжении более 10 лет без существенного ремонта.

Проведённые исследования позволили разработать методику и компьютерную программу расчёта таких оболочек применительно к ветрозащитным торцовым закрытиям большой длины [7]. Надёжность и эффективность ветрозащитного закрытия обеспечены подбором оптимальных параметров тросов и эластичных клапанов, выполненных на основе

методики расчёта напряжённо-деформированного состояния закрытия. Разработанная методика расчёта композитной мягкооболочечной конструкции позволяет осуществлять проектирование закрытий подобного типа для любого размерного ряда и разных назначений [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 РД 31.83.06-83 Рекомендации по выбору типа, количества и расположения ветрозащитных устройств на плавучих доках. -М.: Мортехинформреклама, 1984. -31 с.
- 2 Закрытие: А.с. 1175795 / Н.И. Дороговцев, С.М. Качановский, Л.А. Чистяков. -Опубл. 30.08.85 в Б.И. №32, -4 с.
- 3 Ветрозащитное закрытие торца дока: А.с. 1595739 / С.А. Огай, В.В. Малышкин. -Опубл. 30.09.90 в Б.И. №36, -3 с.
- 4 Ветрозащитное закрытие: А.с. 1622222 / С.А. Огай, В.В. Малышкин. -Опубл. 23.01.91 в Б.И. №3, -8 с.
- 5 Огай, А.С. Разработка методик расчёта и выбора вспомогательных мягкооболочечных доковых устройств: Дисс... канд. техн. наук: 05.08.04 / Огай Алексей Сергеевич; Мор. гос. унив. им. адм. Г.И. Невельского. –Владивосток, 2004. -165 с.
- 6 Потутаровский, А.И. Опыт эксплуатации ветрозащитных штор для плавучих доков / А.И. Потутаровский, В.Г. Непейвода // Матер. VI Межд. научн.-практ. конф. «Проблемы транспорта Дальнего Востока». -Владивосток, 2005. -С. 205.
- 7 Заводовская, А.И. Формообразование и расчет ветрозащитного экрана с повышенными аэродинамическими характеристиками / А.И. Заводовская // -Транспортное дело России. -2006, -№7 спец. вып.: Актуальные вопросы безопасности и эффективности транспортных комплексов. -С. 122-129.
- 8 Огай, С.А. Ветрозащитные экраны плавучих доков и грузовых терминалов портов / С.А. Огай, А.С. Огай // Т-ранспортное дело России. -2005. -№3 спец. вып.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: судоремонт, плавучий док, ветрозащитное торцовое закрытие, мягкая оболочка, ткани с полимерным покрытием
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Заводовская Анна Ивановна, доцент ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА ПРЯМОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПО РАЗНОСТЯМ ВЫСОТ И АЗМУТОВ СВЕТИЛ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

В.И. Сичкарев, М.М. Барбашев

IMPROVEMENT OF THE ALGORITHM OF COORDINATES CALCULATION BY ALTITUDE AND AZIMUTE DIFFERENCES
 Siberian state university of water transport
 V.I. Sichkarev, M.M. Barbashev

Additional geometric conditions for the arrangement of the asters, zeniths and poles are considered. For these conditions, the form of the calculated parallactic angle expression is defined. An alternative expression for calculating the difference of the star additions of the zenith and the upper star is given.

Keywords: altitudes and azimuths differences, the geometry of the asters, zenith and pole arrangement, direct calculation algorithm

Рассмотрены дополнительные геометрические условия взаимного расположения светил, зенита и полюса. Для этих условий определен вид расчётного выражения параллактического угла. Приведено альтернативное выражение для расчёта разности звездных дополнений зенита и верхнего светила.

В [1] представлен алгоритм прямого вычисления обсервованных координат места судна по наблюдениям разностей высот и азимутов светил, выполняемых с помощью секстана с поворотным большим зеркалом [2]. По этому алгоритму М.М. Барбашевым составлена компьютерная программа, с помощью которой выполнено тестирование алгоритма для различного взаимного положения светил, зенита и северного полюса. Тестирование показало, что при геометрии взаимного положения светил, зенита и полюса рассмотренных в [1], программа дает хорошие результаты. Вместе с тем, обнаружались такие геометрические схемы, которые не были рассмотрены ранее. Кроме того, обнаружены некоторые случаи расположения точки Овна, при которых разность звездных дополнений зенита $Z \tau_z$ и верхнего наблюдаемого светила $A \tau_A$

$$\Delta \tau_{ZA} = \tau_z - \tau_A, \quad (1)$$

оказывается, больше 180°, что нарушает ограничения Эйлера для сферических треугольников. В этом случае переход к дополнению

$$\Delta \bar{\tau}_{ZA} = 360 - \Delta \tau_{ZA}, \quad (2)$$

позволяет получить правильное значение обсервованной долготы, но такой переход не был предусмотрен в алгоритме [1].

Обнаружены также случаи, когда угол $\Delta \tau_{ZA}$ оказывается в пределах

$$90^\circ < \Delta\tau_{ZA} < 180^\circ, \quad (3)$$

но его расчёт в [1] выполняется по формуле котангенсов с отрицательным значением функции в секторе (3), что при расчёте обратной функции дает $\Delta\tau_{ZA} < 0$, но не в пределах (3).

Указанные особенности к необходимости совершенствования алгоритма [1].

Рассмотрим геометрию взаимного положения верхнего светила А, нижнего светила В или В', зенита Z и полюса P в виде различного положения P1, P2, P3 и P4 (рисунок 1).

В [1] рассматривалось взаимное положение светил А и В, нижнее светило слева от верхнего; теперь же дополним его, расположением нижнего светила В' справа от верхнего. При этом расположение полюса P может оказаться в любой из четвертей, образованных большим кругом, соединяющим светила А и В или В' (на рисунок 1 линия ab), и вертикалом верхнего светила ZA (на рисунок 1 линия cd). Обозначение углов при различных положениях полюса приведено на рисунках 1-5 и соответственно обозначениям в [1].

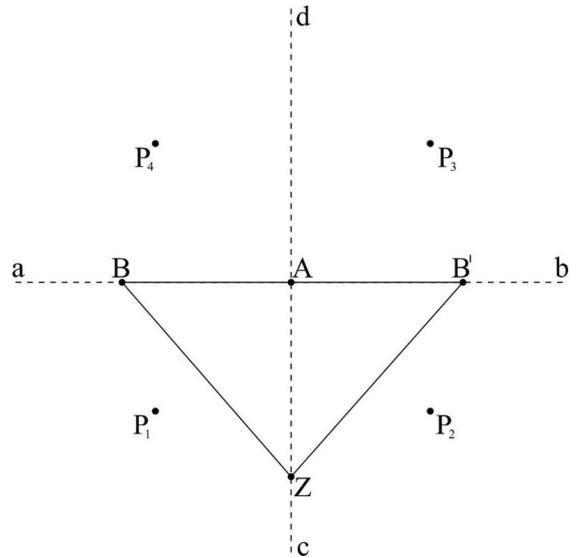


Рисунок 1 Обобщенные варианты взаимного расположения светил А, В, В', зенита Z, полюса P (светило А – верхнее из двух наблюдаемых А и В или А и В')

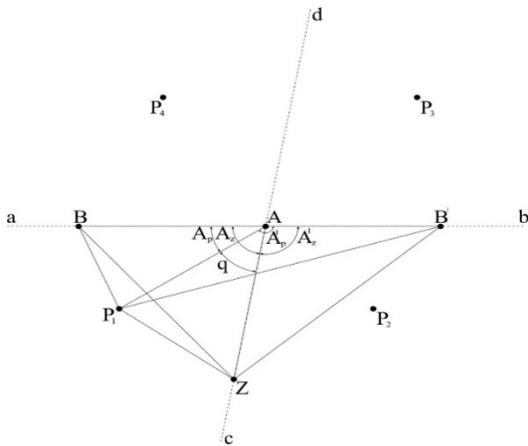


Рисунок 2 Полюс в 3 четверти

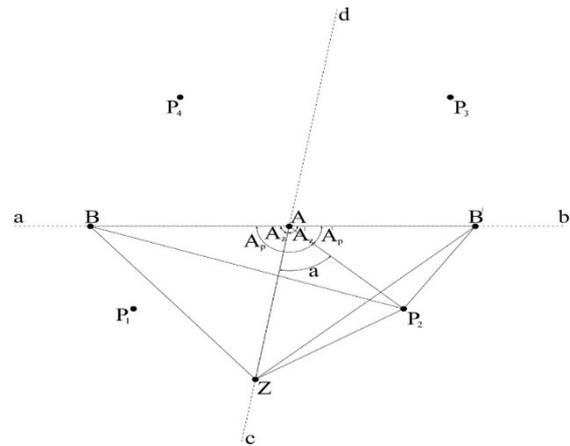


Рисунок 3 Полюс во 2 четверти

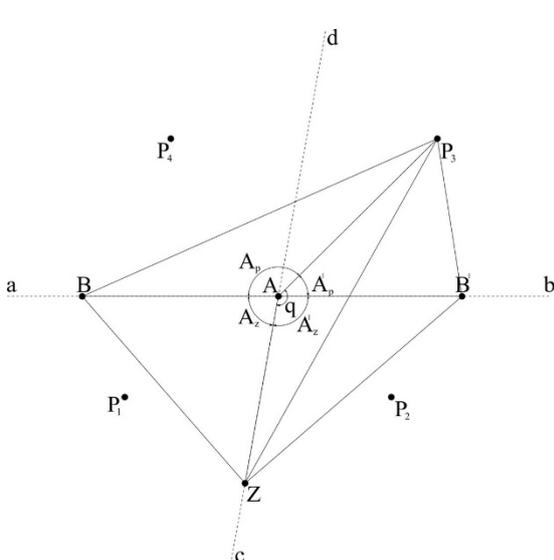


Рисунок 4 Полюс в 1 четверти

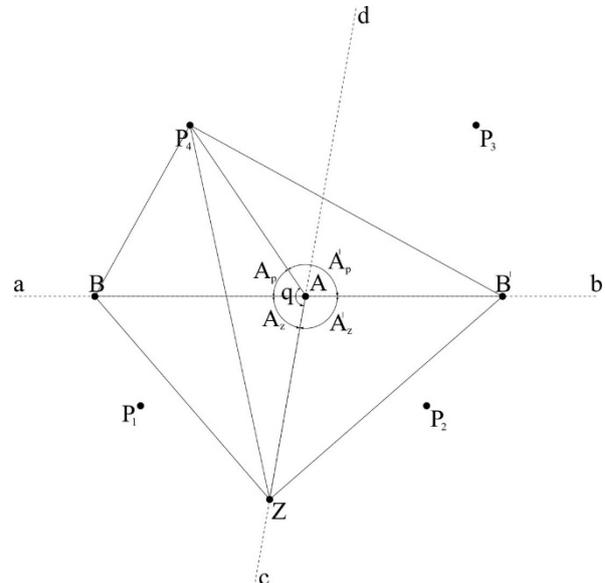


Рисунок 5 Полюс в 4 четверти

К исходным известным величинам, вычисленным ко времени определения параллактического угла в предыдущих шагах алгоритма [1], относятся угол $A_p = BAP$ или $A'_p = B'AP$ и угол $A_z = BAZ$ или $A'_z = B'AZ$.

Искомый параллактический угол q светила $A = PAZ$ по величине не зависит от положения светила B или B' , относительно светила A , но функционально зависит от того, где расположено нижнее светило относительно верхнего A . Функциональное значение параллактического угла q представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Вычисление параллактического угла при различной геометрии взаимного расположения полюса, зенита и светил

Положение полюса P в четверти	Нижнее светило B слева от верхнего A q	Нижнее светило B' справа от верхнего A q'
P1 в aAc	$q_1 = A_z - A_p$	$q'_1 = -(A'_z - A'_p)$
P2 в cAb	$q_2 = A_p - A_z$	$q'_2 = -(A'_p - A'_z)$
P3 в bAd	$q_3 = 360^\circ - (A_z + A_p)$	$q'_3 = A'_z + A'_p$
P4 в aAd	$q_4 = A_z + A_p$	$q'_4 = 360^\circ - (A'_z + A'_p)$

Таким образом, в зависимости от фактического взаимного расположения светил, зенита и полюса (A, B или B', Z, P) для расчета параллактического угла q нужно воспользоваться одной из формул, описывающих величины q_{1-4}, q'_{1-5} .

Для расчёта разности звездных дополнений $\Delta\tau_{ZA}$ вместо формулы $\text{ctg}\Delta\tau_{ZA}$ дающей значения аргумента $\Delta\tau_{ZA}$ в пределах

$$-90^\circ < \Delta\tau_{ZA} < 90^\circ, \quad (4)$$

удобнее пользоваться формулой

$$\cos \Delta\tau_{ZA} = \frac{\sinh_a - \sin \varphi \sin \delta_A}{\cos \varphi \cos \delta_A}, \quad (5)$$

дающей значение аргумента $\Delta\tau_{ZA}$ в пределах

$$0^\circ < \Delta\tau_{ZA} < 180^\circ. \quad (6)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сичкарев, В.И. Аналитическое определение места судна по наблюдениям разностей высот и разностей азимутов двух светил / В.И. Сичкарев // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2012. -№1. -С. 210 -215.
- 2 Секстан: патент на изобретение №2523100 МПК G01C 1/08 (2006.01) / Сичкарев, В.И. 28.02.2013.
- 3 Барбашев, М.М. Программирование прямого вычисления координат по разностям высот и азимутов светил / В.И. Сичкарев, М.М. Барбашев // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2017. -№1-2. -С.51-52.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: алгоритм прямого вычисления, разность высот и азимутов светил, геометрия взаимного расположения светил, зенита и полюса
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Сичкарев Виктор Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Барбашев Михаил Максимович, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ЗАВИСИМОСТЬ ТОЧНОСТИ КООРДИНАТ ОТ ВОЗРАСТА ПОПРАВОК НА МАЛОМ УДАЛЕНИИ ОТ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СТАНЦИИ

ФГБУН «Институт автоматизации и процессов управления»
 Дальневосточного отделения РАН
 ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм.
 Г.И. Невельского»

В.А. Кац, Ю.А. Комаровский

DEPENDENCE OF COORDINATE ACCURACY ON AGE OF CORRECTION AT A SMALL DISTANCE FROM A DIFFERENTIAL STATION

Institute of automation and control processes
 Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
 V.A. Katz, Yu.A. Komarovskiy

We processed and analyzed the statistical material collected in the course of experimental observations of the operation of a stationary ship's GPS receiver in the coverage area of a differential station. The analysis established a systematic shift of the means of latitudes and longitudes with a rising age of correction. The mean square latitude error varied from $\pm 0,75$ m to $\pm 0,85$ m, and longitude from $\pm 0,55$ m to $\pm 0,65$ m.

Keywords: DGPS-receiver, issue of data age of correction, error of coordinates, mean square error

Обработан статистический материал, собранный в ходе экспериментальных наблюдений за работой неподвижного судового GPS-приёмника в зоне действия дифференциальной станции. Установлено систематическое смещение средних широт и средних долгот с увеличением возраста дифференциальной поправки. При этом средняя квадратическая погрешность широты изменялась в пределах от $\pm 0,75$ м до $\pm 0,85$ м, а долготы – от $\pm 0,55$ м до $\pm 0,65$ м.

Ровно 40 лет назад, 17 июля 1977 года, американский инженер Дэвид Ван Дюссельдорп (David Van Dusseldorp) из компании Rockwell Collins впервые принял и декодировал сигналы системы Навстар GPS от экспериментального спутника NTS-2. С тех пор спутниковая радионавигационная система (СРНС) Навстар GPS стала самой используемой в мире. Благодаря Навстар GPS, появились новые технологии судовождения, заметно облегчающие работу штурмана. Здесь, прежде всего, следует отметить технологию повышения точности определения координат потребителя с помощью дифференциальных поправок. Она получила название Differential GPS (DGPS).

Несмотря на явную полезность DGPS и на почти 30-летнее её использование, проблема оценки точности координат, получаемых в зонах действия DGPS-станций, остаётся далёкой от полного решения. Считается, что на величины погрешностей координат судна в зонах действия DGPS-станций оказывают влияние пространственная декорреляция (spatial decorrelation) и временная декорреляция (temporal decorrelation) [1, 2]. Суть пространственной декорреляции заключается в ухудшении точности координат потребителя по мере удаления его приёмника от станции DGPS. Временная декорреляция проявляется в ухудшении точности координат в связи со «старением» дифференциальной поправки. Отсюда возникает потребность оценить вклад каждого из этих факторов в формирование общей погрешности координат.

В работе [3] показано, что на расстоянии 60 миль от DGPS-станции мыса Поворотного имеет место влияние временной декорреляции. Но на таком расстоянии уже сказывается воздействие пространственной декорреляции. Чтобы устранить влияние последней, необходимо обработать экспериментальные наблюдения, полученные вблизи опорного приёмника DGPS-станции. Тогда можно будет в полной мере оценить воздействие временной декорреляции на точность координат судна в зоне действия станции DGPS.

Для достижения поставленной цели были использованы экспериментальные данные, собранные Ю.А. Комаровским в октябре 2012 года. Во время эксперимента судовой GPS-приёмник GP-37 был неподвижно установлен на берегу бухты Гранитной (Шепалово) на расстоянии 2,48 морских миль от опорного приёмника DGPS-станции мыса Поворотного Японского моря. К приёмнику GP-37 на время эксперимента подключался ноутбук, на жёсткий диск которого круглосуточно и ежесекундно автоматически заносилась информация в формате NMEA 0183. Приёмник работал в автоматическом режиме приёма дифференциальных поправок.

Старение дифференциальной поправки оценивается её возрастом, выраженным в секундах. Пусть в некоторый момент времени аппаратура дифференциальной станции вычисляет дифференциальные поправки к псевдодальностям по всем спутникам, которые находятся в зоне радиовидимости антенны опорного приёмника. Этот момент времени в СРНС Навстар GPS принято обозначать аббревиатурой IOD (Issue of Data) [4]. Пусть Δ_{IOD} - поправка в метрах к псевдодальности до данного спутника в момент времени IOD. Величину поправки и соответствующий ей отсчёт времени IOD транслирует передатчик DGPS-станции. Помимо поправки Δ_{IOD} на DGPS-станции рассчитывается и затем транслируется в эфир скорость её изменения, соответствующая моменту времени IOD. Работа станции DGPS строго синхронизирована по шкале системного времени GPS. Работа судового GPS-приёмника также синхронизируется метками системного времени, транслируемыми спутниками D-кодом. В судовом приёмнике ведётся отсчёт возраста поправки от момента IOD. Если предположить, что с момента IOD прошло τ секунд, то величина дифференциальной поправки, которой исправляется псевдодальность в судовом приёмнике Δ_τ , вычисляется там следующим образом

$$\Delta_\tau = \Delta_{IOD} + \delta(t)\tau,$$

где τ – возраст поправки (Age of Correction – АОС) в секундах.

Вследствие неизбежных флуктуаций физических характеристик ионосферы величины Δ_{IOD} и $\delta(t)$ со временем будут не соответствовать реальным значениям. Поэтому предпола-

гается, что по мере увеличения τ достоверность Δ_τ уменьшается, а это приводит в конечном итоге к снижению точности обсервованных координат судна. Следовательно, чем меньше τ , тем выше точность обсервованных координат судна. В некоторый момент времени IOD2 в аппаратуре DGPS-станции вычисляются следующие Δ_{IOD} и $\delta(t)$. Величина IOD2-IOD будет максимальным возрастом дифференциальной поправки τ_{MAX} в данном цикле обновления поправки. Наибольшее значение τ_{MAX} не превышает 59 с.

Величина τ указывается в предложении \$GPGGA, выводимого в формате NMEA 0183 на внешние устройства [5]. Поэтому на первом этапе обработки полученного массива экспериментальных данных были выбраны только эти предложения. Из них выбирались моменты времени по шкале UTC, значения обсервованных широт и долгот, а также величина возраста дифференциальной поправки. Всего было зарегистрировано 931954 значений τ . Они принимали значения от 0 до 59 с. На долю величин τ от 0 до 6 с приходится 99,9% всех зарегистрированных значений. В таблице 1 можно видеть частоты, с которыми встречались значения τ во время экспериментальных наблюдений.

Если принять возраст дифференциальной поправки в качестве дискретной случайной величины, то о виде её эмпирического распределения плотности вероятностей можно судить по гистограмме рисунка 1.

Анализ таблицы 1 и рисунка 1 позволяет сделать вывод о явном преобладании нулевого значения возраста дифференциальной поправки. Такой возраст обнаруживается чаще всего. На его долю приходится 40% всех наблюдений. Нулевой возраст подразумевает, что величины Δ_{IOD} и $\delta(t)$ менее всего отличаются от реальных. Поэтому можно предположить, что нулевому возрасту будет соответствовать наибольшая точность обсервованных координат. По мере роста возраста поправки частота её проявления нелинейно уменьшается.

Возраст дифференциальной поправки 6 с был зарегистрирован в 1176 случаях, а следующий сразу за ним возраст 7 с уже регистрировался только в 52 случаях, то есть в 22,6 раз меньше. Этот факт можно рассматривать в качестве признака того, что аппаратура DGPS-станции настроена на обновление Δ_{IOD} и $\delta(t)$ максимум через 5 с или 6 с. Увеличение максимального возраста дифференциальной поправки, скорее всего, происходило в результате сбоев, не предусмотренных алгоритмом работы аппаратуры DGPS-станции. Гистограмма частот появления возраста поправки, большего 6 с, представлена на рисунке 2.

Таблица 1 – Частоты регистрации значений возраста поправок от 0 до 6 с

Возраст поправки, с	Частота	Возраст поправки, с	Частота
0	372870	4	62101
1	215814	5	14377
2	142692	6	1176
3	122028	Итого	931058

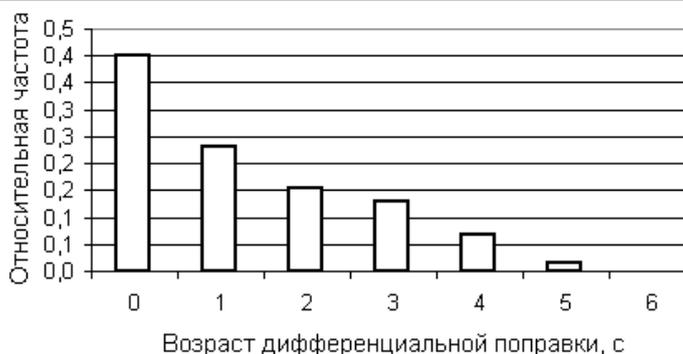


Рисунок 1 – Гистограмма относительных частот возраста дифференциальной поправки продолжительностью 0-6 с

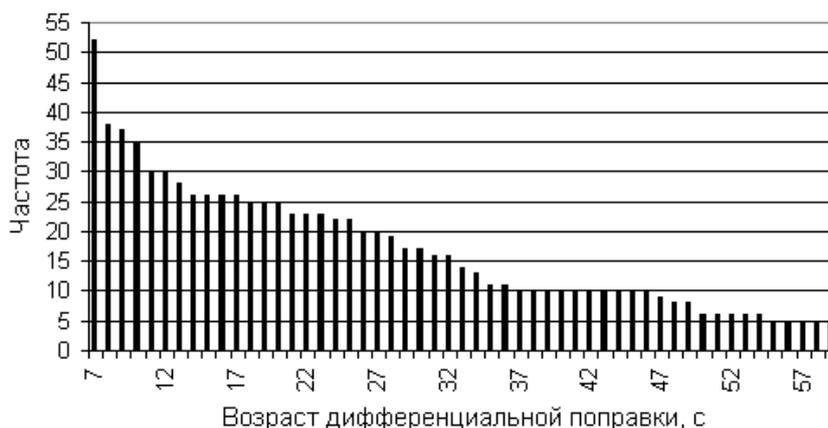


Рисунок 2 – Гистограмма относительных частот возраста дифференциальной поправки продолжительностью от 7-59 с

С помощью гистограммы рисунка 2 можно оценить частоты появления максимальных возрастов поправок τ_{MAX} . Как следует из рисунка 2, максимальный возраст поправки в полученных экспериментальных данных достигал 59 с 5 раз. Дальнейший анализ данных позволил обнаружить факт того, что после достижения возраста поправки 59 с DGPS приёмник GP-37 автоматически переключался в автономный режим работы, в котором дифференциальные поправки не принимались. В этом режиме он находился от 0,28 минут до 9,28 минут. Как следует из результатов дальнейшей обработки, в автономный режим работы приёмник переходил и в тех случаях, когда максимальный возраст поправки достигал значений от 13 с до 54 с. При этом время восстановления дифференциального режима работы приёмника иногда достигало 26,2 минуты.

С учётом результатов предварительной обработки разумнее оценивать зависимость характеристик точности определения плановых координат при возрасте дифференциальных поправок в диапазоне от 0 до 6 с. С этой целью для каждого значения возраста поправки из диапазона от 0 до 6 с были рассчитаны средние значения дробных частей минуты широты и долготы

$$\varphi_{CP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varphi_i ; \lambda_{CP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i ,$$

где n – количество значений широты φ_i и долготы λ_i из массива, соответствующего данному возрасту поправки.

Графики изменения φ_{CP} и λ_{CP} можно видеть на рисунках 3 и 4 соответственно.

Анализ расположения полученных средних позволяет сделать вывод о присутствии нелинейной зависимости обсервованных широт и долгот от возраста дифференциальной поправки. При этом у обсервованной широты характер связи положительный, а у долготы – отрицательный. Следовательно, имеет место систематическая погрешность, которая с увеличением возраста поправки уводит обсервованную широту к северу, а обсервованную долготу к западу. Расчёты показали, что смещение по меридиану составили 0,06 м, а по параллели – 0,03 м. С помощью методов регрессионного анализа были получены математические выражения (1) и (2), описывающие влияние возраста поправки на величины средних широт и долгот соответственно

$$\varphi_{CP} = 0,000000555\tau^2 + 0,000002219\tau + 0,497531 , \tag{1}$$

$$\lambda_{CP} = -0,00000129\tau^2 + 0,00000531\tau + 0,408191 . \tag{2}$$



Рисунок 3 – Изменение средней широты в зависимости от возраста дифференциальной поправки

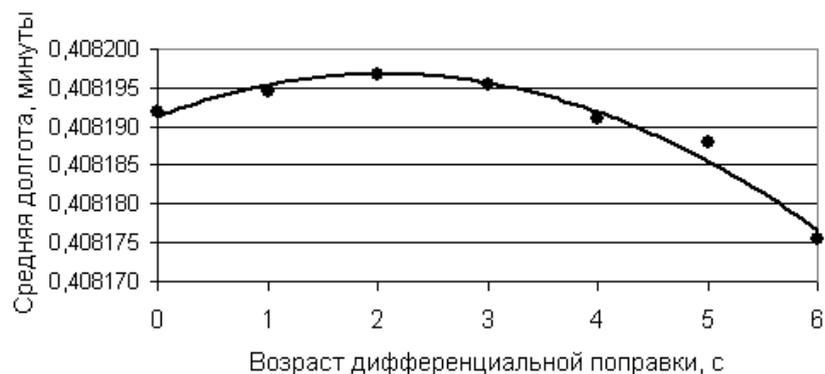


Рисунок 4 – Изменение средней долготы в зависимости от возраста дифференциальной поправки

Другим важным показателем точности определения координат служит средняя квадратическая погрешность (СКП). СКП в метрах широты σ_φ и СКП долготы σ_λ принято вычислять по следующим формулам

$$\sigma_\varphi = \ell_m \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varphi_i - \varphi_{CP})^2}{n}} ; \sigma_\lambda = \ell_p \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \lambda_{CP})^2}{n}} ,$$

где ℓ_m, ℓ_p – длина в метрах одной минуты меридиана и одной минуты параллели соответственно

$$\ell_m = \frac{a(1-e^2)\text{arc}1'}{\sqrt{(1-e^2\sin^2\varphi_e)^3}} ; \ell_p = \frac{a\cos\varphi_e\text{arc}1'}{\sqrt{1-e^2\sin^2\varphi_e}} ,$$

где a – большая полуось данного референц-эллипсоида, выраженная в метрах;
 e – первый эксцентриситет данного референц-эллипсоида;
 φ_e – значение геодезической широты места проведения экспериментальных наблюдений, выраженное в градусах;
 $\text{arc}1' = 0,000290888208$.

Графики изменения СКП широты и долготы в зависимости от возраста поправки представлены на рисунках 5 и 6 соответственно.

Сравнение рисунков 5 и 6 позволяет сделать вывод о большом сходстве закономерностей изменения СКП обсервованных координат. Видно, что в диапазоне от 0 до 2 с СКП почти не изменяются. На интервале возрастов от 2 с до 4 с величины СКП широты и долготы увеличиваются, а со значения возраста 4 с СКП уменьшаются. Такой вывод противоречит ожидаемому росту СКП по мере увеличения τ .

В заключение следует остановиться на следующих результатах проделанного анализа.

- На малом удалении от станции DGPS присутствует влияние временной декорреляции на точность обсервованных координат. Она вызывает небольшие смещения средних величин координат, приводит к ухудшению на $\pm 0,05$ м точности координат, когда возраст поправки принимает значения от 3 с или 4 с, и неожиданно приводит к увеличению точности на $\pm 0,1$ м при дальнейшем росте возраста поправки.

- Средняя квадратическая погрешность определения судовым DGPS-приёмником широты и долготы может достигать $\pm 0,75$ м и $\pm 0,55$ м соответственно.

- При возрасте поправок от 0 до 2 с средние и СКП массивов координат практически одинаковы. Поэтому их можно объединить для дальнейшего исследования вида и параметров функции распределения координат вблизи DGPS-станции.

- Полученные результаты могут послужить количественной основой для модернизации DGPS-станций и судовых DGPS-приёмников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Parkinson, B.W. Global Positioning System: Theory and Applications / B.W. Parkinson, J.J. Spilker // -Vol. I. Published by the American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. SW, Washington, DC, 1966. -793 p.
 2 Global Positioning System. Papers published in Navigation. -Vol.III. The Institute of Navigation. Alexandria, VA, USA, 1986. -P.

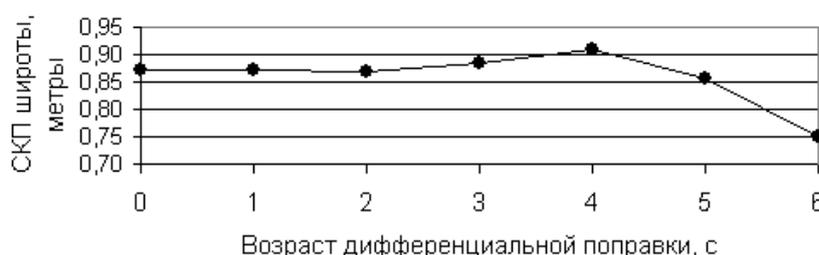


Рисунок 5 – Зависимость средней квадратической погрешности широты от возраста дифференциальной поправки

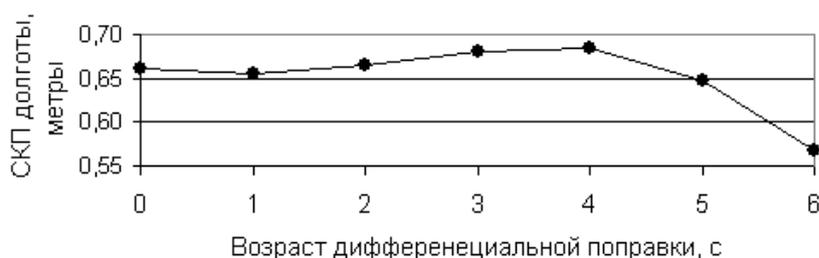


Рисунок 6 – Зависимость средней квадратической погрешности долготы от возраста дифференциальной поправки

89-193.

3 Комаровский, Ю.А. Влияние возраста дифференциальных поправок на точность определения плановых координат / Ю.А. Комаровский // Вестн. Мор. гос. унив. Серия: Судовождение. -Вып. 53. -Владивосток: Мор. гос. унив., 2012. -С. 59-69.

4 RTCM Recommended Standards for Differential NAVSTAR GPS Service. Version 2.1. RTCM Special Committee No. 104. January 3, 1994. -114 p.

5 NMEA 0183. Standard for Interfacing Marine Electronic Devices. Version 3.00, July 1, 2000. -115 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: GPS-приёмник дифференциальных поправок, момент издания дифференциальных поправок, погрешности координат, средняя квадратическая погрешность

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кац Владимир Александрович, главный специалист-программист ИАПУ ДВО РАН Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, консультант ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690041, г.Владивосток, ул.Радио, 5, ИАПУ ДВО РАН
690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ПОСТРОЕНИЕ АППРОКСИМАЦИОННЫХ ВЫРАЖЕНИЙ ГРАФИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ МЕЛКОВОДЬЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ЗАСАСЫВАНИЯ ВОДОМЁТНОГО КОМПЛЕКСА ВОДОИЗМЕЩАЮЩИХ СУДОВ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

П.А. Бимберек

CONSTRUCTION OF THE APPROXIMATION OF EXPRESSIONS GRAPHIC DEPENDENCIES ON THE SUCTION COEFFICIENT OF THE WATER BODY COMPLEX IN SHALLOW WATER OF DISPLACEMENT VESSELS

Siberian state university of water transport

P.A. Bimberekov

Reception of approximation of expressions graphic dependencies of the suction coefficient of a water body complex in shallow water.

Keywords: water jet propulsion, shallow water, suction coefficient, recovery of numerical data

Рассматривается получение аппроксимационных выражений графических зависимостей коэффициента засасывания водомётного комплекса на мелководье.

Данная статья продолжает начатое ранее получение аналитических выражений для ряда параметров водомётных движителей, опубликованное в [1-9]. Аналитические выражения наиболее удобны для составления расчётных программ определения параметров движителей на ЭВМ. В качестве исходных данных взяты графические зависимости по [10], обработка велась с использованием способа по [11, 12]. На рисунке 1 представлено сопоставление исходных данных – точки, с аппроксимационными выражениями всего поля данных – линии (рисунок 1а), и погрешностей полученных выражений (рисунок 1б) для коэффициента засасывания водомётного комплекса на мелководье t_B , в зависимости от коэффициента нагрузки комплекса σ'_e

$$\sigma'_e = \frac{2P_e}{\rho V^2 F_p}, \quad (1)$$

где P_e – полезная тяга движителя;

ρ – плотность воды;

V – скорость хода судна;

F_p – площадь гидравлического сечения движителя.

В качестве исходных взяты экспериментальные данные касающиеся влияния глубины фарватера H' , на работу водомётных движителей при докритических скоростях хода судов

$$V = 0,8\sqrt{gH'},$$

где g – ускорение свободного падения.

Получено следующее выражение

$$1+t_B = [-35,3(T/H') + 23,6](1/\sigma'_e)^4 + [36,3(T/H') - 28,9](1/\sigma'_e)^3 + [-13,7(T/H') + 14,0](1/\sigma'_e)^2 + [-21,2(T/H')^3 + 4,6(T/H')^2 + 1,65(T/H') - 3,78](1/\sigma'_e) + [-2,42(T/H')^3 + 2,1(T/H')^2 - 0,514(T/H') + 1,3066], \quad (2)$$

где T – средняя осадка судна;

T/H' – параметр, обратный относительной глубине фарватера H'/T .

Погрешность выражения (2) лежит в пределах $\pm 3,5\%$ что можно считать допустимым.

Полученное выражение для коэффициента засасывания водомётного комплекса на мелководье удовлетворительно соответствуют восстановленным числовым данным, и может служить составлению расчётных программ на ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бимбереков, П.А. К расчёту влияния относительного погружения винта на работу движителя / П.А. Бимбереков // Мат-лы научн.-практ. конф. «Роль науки в развитии морского образования». Ч.1. -Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. унив. водн. трансп., 2015. -С. 147-149.

2 Бимбереков, П.А. Выражение для коэффициента нагрузки по полезной тяге при максимальном коэффициенте полезного действия струи водомётного движителя / П.А. Бимбереков // Мат-лы научн.-практ. конф. «Роль науки в развитии морского образования». Ч.11. - Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. унив. водн. трансп., 2015. -С. 147-149.

3 Бимбереков, П.А. Аппроксимационные выражения для зависимостей водомётных движителей водоизмещающих судов / П.А. Бимбереков // Мат-лы научн.-практ. конф. «Роль науки в развитии морского образования». Ч.11. - Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. унив. водн. трансп., 2015. -С. 150-152.

4 Бимбереков, П.А. Аппроксимационное выражение для зависимостей коэффициентов гидравлических потерь полнонапорных водозаборников / П.А. Бимбереков // Мат-лы научн.-практ. конф. «Роль науки в развитии морского образования». Ч.11. -Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. унив. водн. трансп., 2015. -С. 152-157.

5 Бимбереков, П.А. Аппроксимационное выражение для зависимостей коэффициентов гидравлических потерь статических водозаборников / П.А. Бимбереков // Мат-лы научн.-практ. конф. «Роль науки в развитии морского образования». Ч.11. - Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. унив. водн. трансп., 2015. -С. 157-159.

6 Бимбереков, П.А. Вариант корректировки процедуры расчёта водомётного движителя / П.А. Бимбереков // Мат-лы научн.-практ. конф. «Роль науки в развитии морского образования». Ч.11. -Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. унив. водн. трансп., 2015. -С. 159-162.

7 Бимбереков, П.А. Аппроксимация графических зависимостей расчётной схемы проектирования винта по методу «эквивалентного винта» / П.А. Бимбереков // Мат-лы научн.-практ. конф. «Роль науки в развитии морского образования». Ч.11. - Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. унив. водн. трансп., 2015. -С. 162-166.

8 Бимбереков, П.А. Аппроксимационные выражения некоторых зависимостей движителей судов / П.А. Бимбереков // Мат-лы научн.-практ. конф. «Роль науки в развитии морского образования». Ч.11. -Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. унив. водн. трансп., 2015. -С. 166-169.

9 Бимбереков, П.А. Аппроксимационные выражения графических зависимостей определения параметров винтов с наименьшими потерями / П.А. Бимбереков // Мат-лы научн.-практ. конф. «Роль науки в развитии морского образования». Ч.11. - Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. унив. водн. трансп., 2015. -С. 169-173.

10 Басин, А.М. Ходкость и управляемость судов / А.М. Басин. -М: Транспорт, 1964. -476 с.

11 Бимбереков, П.А. Способ восстановления числовых данных по графическим зависимостям и получение аппроксимационных выражений водомётных движителей водоизмещающих судов / П.А. Бимбереков // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2015. -№3. -С. 118-122.

12 Способ восстановления числовых данных по графическим зависимостям: Пат. №2626342 Российской Федерации, МПК G 06 F 17/10 / П.А. Бимбереков. -№2013117631; заявл. 04.05.2016; опубли. 26.07.2017, бюл. №21.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водомётный движитель, мелководье, коэффициент засасывания, восстановление числовых данных

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Бимбереков Павел Александрович, докт. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»

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

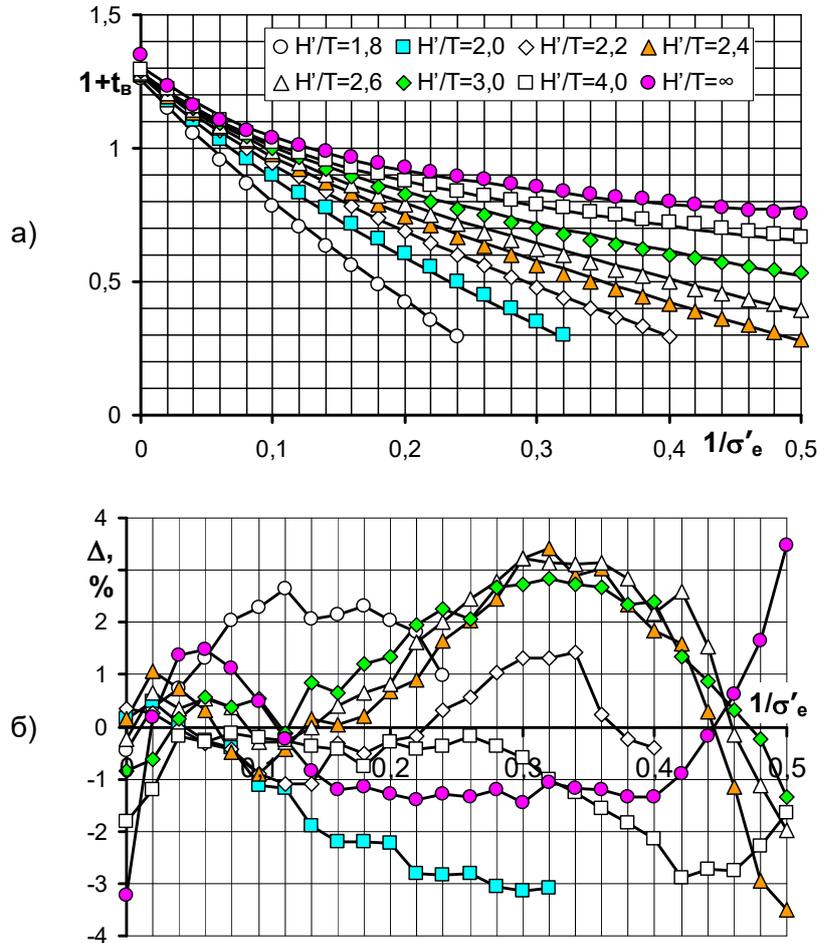


Рисунок 1 - Зависимость коэффициента засасывания водомётного комплекса от относительной глубины фарватера H'/T по (2): а)-с аппроксимационными выражениями всего поля данных; б)- погрешностей полученных выражений

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ПУСКА ДИЗЕЛЯ СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ

ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)

В.Н. Бондарь, А.А. Малозёмов, В.С. Кукис

MATHEMATICAL MODEL OF PROCESSES IN THE DIESEL START-UP SYSTEM BY COMPRESSED AIR

South Ural state university (national research university)

V.N. Bondar, A.A. Malozemov, V.S. Kukis

The article describes the results of the work on the creation of a multi-domain mathematical model of transient processes during diesel engine start-up with compressed air, based on the energy and mass balance method, the theory of bond graphs and included in the reciprocating engines simulation software.

Keywords: diesel engine, compressed air starting, transient processes, modeling, software

Изложены результаты работ по созданию мультидоменной математической модели транзитных процессов при пуске дизельного двигателя сжатым воздухом, основанной на методике энергетического и массового баланса, теории бондграфов и включенной в программное обеспечение для имитационного моделирования поршневых двигателей.

Одномерные газодинамические математические модели нашли широкое применение при расчетах поршневых двигателей внутреннего сгорания (ПДВС). Примерами реализации таких моделей является коммерческое программное обеспечение (ПО) AVL Boost [1], Ricardo Wave [2], GT-Suite [3], AMESim [4] и другое. Несмотря на то, что такое ПО позволяет проводить расчет транзитных режимов и частично мультидоменных процессов (GT-Suite и AMESim), его функциональных возможностей недостаточно для достоверного моделирования процессов предпусковой подготовки и пуска, отличающихся существенной нестабильностью «вовлеченностью» практически всех систем и механизмов ПДВС.

Пусковые качества ПДВС регламентированы действующими стандартами и во многом определяют технический уровень и конкурентоспособность двигателей. Поэтому, для выполнения текущих и перспективных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по их совершенствованию, возникла необходимость разработки математической модели, описывающей процессы ПДВС на режимах предпусковой подготовки и пуска и реализованной в виде некоммерческого ПО.

В качестве основы была взята ранее разработанная А.А. Малозёмовым математическая модель и ПО для имитационного моделирования ПДВС («Internal Combustion Engine Research and Development Library – ICE RnD»), которое представляет собой библиотеку элементов, описывающих процессы в отдельных узлах, системах и механизмах двигателя. Модель, реализованная в «ICE RnD» является:

– мультидоменной, то есть включающей описание: газодинамических процессов в газозоном тракте; гидродинамических – в системах охлаждения, смазки и средствах предпусковой подготовки; механических – в кривошипно-шатунном, газораспределительном и других механизмах; химических – в камере сгорания и горелках средств предпусковой подготовки и средств облегчения пуска; термодинамических – в сопряжениях узлов, систем и механизмов;

– транзитной, то есть учитывающей нестационарную динамику процессов, в том числе, при неподвижном коленчатом валу и его разгоне до скорости, при которых двигатель способен принимать нагрузку;

– сопряженной, то есть учитывающей сложный характер взаимодействия систем и механизмов двигателя на каждом шаге моделирования.

Библиотека в составе ПО, была дополнена элементами, расширяющими его функциональные возможности:

– средствами облегчения пуска (электрическими и топливными подогревателями воздуха на впуске, свечами накаливания);

– средствами предпусковой подготовки (электрическими и топливными подогревателями охлаждающей жидкости и масла);

– системами воздухопуска и электростартерного пуска.

В настоящей статье дано описание основных особенностей математической модели

системы пуска сжатым воздухом в составе ПДВС.

В модели используется подход, основанный на бондграфах [5], узлами которых являются элементы, а ребрами – связи, что отражает процессы перераспределения энергии и массы в системе и соответствует специфике моделирования ПДВС. Модель является гибридной, описывает как непрерывные, так и дискретные состояния системы, она включает описание различных элементов, которые могут соединяться между собой, при этом аказуальным соединениям соответствует система балансовых уравнений (на примере элементов газовой динамики):

$$\sum_1^p \left(\frac{dG_p}{dt} \right) = 0; P_1 = P_2 = \dots = P_p, \quad (1)$$

где dG/dt – массовый расход газа через соединение;

P – давление;

p – номер соединения (порта).

В уравнениях (1) массовый расход газа является потоковой переменной, а давление – потенциальной переменной. Дополнительно через соединения передаются переменные состояния. Например, для элементов газовой динамики ими являются температура, удельная энтальпия и вектор концентрации компонентов газа. Основным принципом, реализованным в математической модели, является её разбиение на классы. Экземплярам классов могут быть поставлены в соответствие графические изображения, поддерживающие технологию «drag and drop» и имеющие возможность объединения в иерархические подсистемы.

Элементы системы воздухопуска относятся к газодинамическим классам, основными из которых являются «объём» и «сопротивление». Класс «объём» реализует методы вычисления потенциальных переменных и переменных состояния, на основе известных потоковых переменных. Класс «сопротивление» реализует методы вычисления потоковых переменных на основе известных потенциальных переменных.

Для расчета процессов в «объёме» используется метод энергетического и массового баланса. Уравнение энергетического баланса

$$\sum_1^p \left[\frac{dH_p}{dt} - \frac{dG_p}{dt} u(T, \bar{C}) \right] + \sum_1^i \left(\frac{dQ_{ini}}{dt} \right) + \sum_1^j \left(\frac{dQ_{outj}}{dt} \right) + \frac{dU}{dt} + P \frac{dV}{dt} = 0, \quad (2)$$

где p – номер порта;

$\frac{dH_p}{dt}$ – поток энтальпии через порт;

$\frac{dG_p}{dt}$ – поток массы через порт;

T – температура газа;

\bar{C} – вектор концентрации компонентов;

u – удельная внутренняя энергия газа;

i – номер внутреннего источника или стока энергии;

$\frac{dQ_{ini}}{dt}$ – поток энергии через внутренний источник или сток;

j – номер внешнего источника или стока энергии;

$\frac{dQ_{outj}}{dt}$ – поток энергии через внешний источник или сток;

$\frac{dU}{dt}$ – изменение внутренней энергии газа;

$P \frac{dV}{dt}$ – работа газа;

V – объём газа.

Уравнение массового баланса газа в «объёме»

$$\frac{dG}{dt} + \sum_1^p \left(\frac{dG_p}{dt} \right) + \sum_1^i \left(\frac{dG_{ini}}{dt} \right) = 0, \quad (3)$$

где $\frac{dG_{ini}}{dt}$ – внутренние источники массы.

Расход газа для другого базового класса – «сопротивление», определяется уравнением (с учетом критического режима течения)

$$\frac{dG}{dt} = \frac{P_1 v}{Rf(T)} AC_D, \quad (4)$$

где P_1 – давление газа перед сопротивлением;
 C_D – коэффициент потока;
 A – площадь поперечного сечения;
 v – скорость течения газа через сопротивление

$$v = \sqrt{\frac{2kRf(T)}{k-1} \left(1 - \frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}}, \quad (5)$$

где k – коэффициент Пуассона;
 P_2 – давление газа за сопротивлением.

Важным элементом любой газодинамической системы является труба, соединяющая элементы расчетной схемы. В математической модели используется два вида труб – статическая и динамическая. «Статическая труба» является потомком базового класса «объем» и применяется в случаях, когда число Куранта $C_o > 0,5$ и волновыми эффектами можно пренебречь. Класс «статическая труба» включает все методы базовых классов «объем» и «сопротивление» (для двух портов).

В основе математической модели «динамической трубы» лежит уравнение Эйлера в одномерной дивергентной форме, для решения которого используется метод С.К. Годунова [6]

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} + S(q) = 0, \quad (6)$$

где U – вектор консервативных переменных;
 F – вектор потоковых переменных;
 $S(q)$ – источники или стоки энергии (диссипативные параметры).

Диссипативные эффекты, связанные с газодинамическим трением, описываются уравнением Darcy-Weisbach

$$\Delta P = \lambda(\text{Re}) \frac{\ell \rho \bar{v}^2}{2}, \quad (7)$$

где ΔP – потеря давления;
 $\lambda(\text{Re})$ – коэффициент трения, зависящий от числа Рейнольдса;
 ℓ – длина трубы;
 d – диаметр трубы;
 ρ – плотность;
 \bar{v} – средняя скорость потока.

В основе подмодели для расчета теплопередачи твердых тел, в том числе стенок труб, лежит уравнение Фурье-Кирхгофа

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (8)$$

где c – теплоемкость;
 λ – коэффициент теплопередачи материала.

Для приведения уравнения (8) к виду обычного дифференциального уравнения первого порядка используется метод конечных разностей. Размерность модели и число узлов расчетной сетки может быть любым. Поточковой переменной является плотность теплового потока, потенциальной переменной – температура. Коэффициенты конвективного теплообмена рассчитываются в зависимости от особенностей контактирующих поверхностей и сред.

На рисунке 1 приведена расчетная имитационная схема дизеля 6ЧН15/16 с системой воздушного пуска (системы смазки, охлаждения и газотурбинного наддува не показаны), а на рисунке 2 – результаты моделирования динамики двигателя при прокрутке воздухом в сравнении с экспериментальными данными, свидетельствующие об их удовлетворительном совпадении.

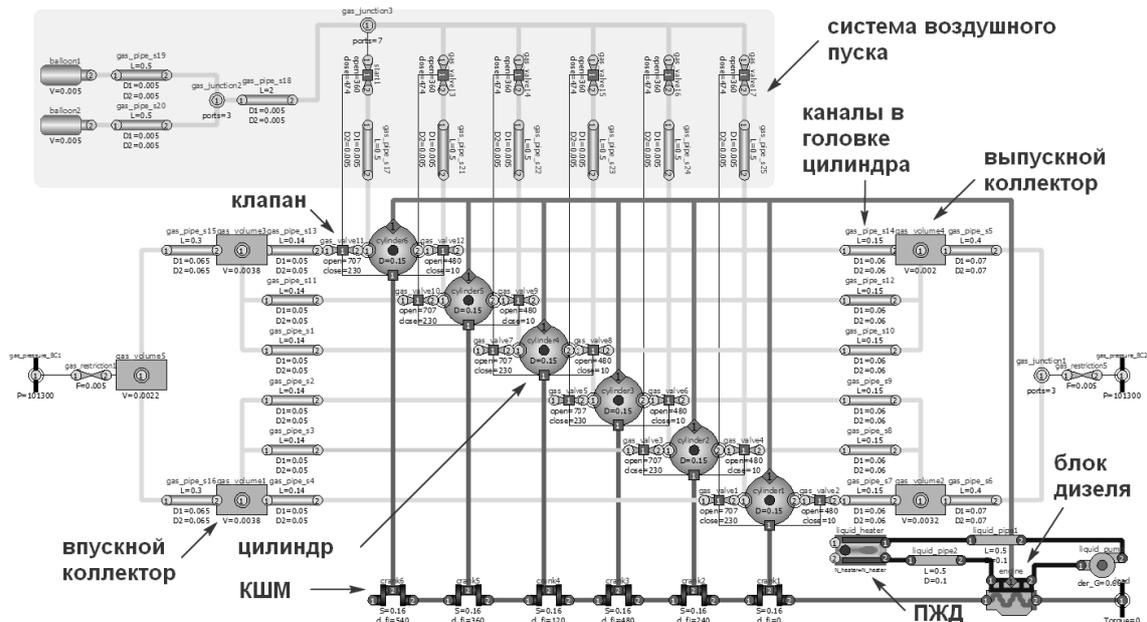


Рисунок 1 – Имитационная модель дизеля 6ЧН15/16 с системой воздушного пуска (КШМ – кривошипно-шатунный механизм, ПЖД – предпусковой жидкостный подогреватель)

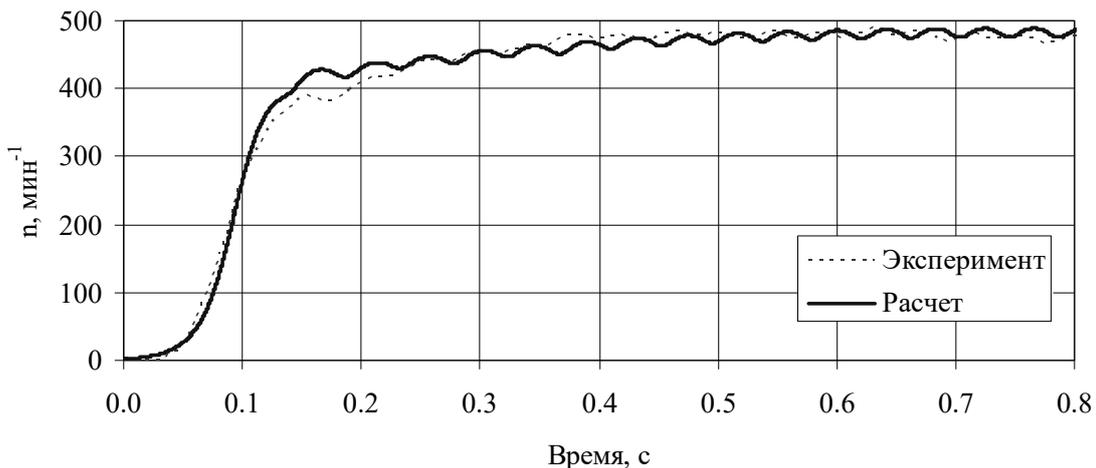


Рисунок 2 – Сравнение экспериментальных и расчетных данных по динамике прокручивания коленчатого вала двигателя 6ЧН15/16 сжатым воздухом

Таким образом, создана мультидоменная математическая модель процессов дизеля при пуске сжатым воздухом. Модель имплементирована в комплексное ПО для расчета и оптимизации ПДВС «ICE RnD», она обеспечивает достоверность, точность и функциональные возможности, достаточные для выполнения текущих и перспективных научно-исследовательских и опытно конструкторских работ.

Математическая модель и ПО используются для решения задач обеспечения пуска дизелей различного назначения, и совершенствования методов и средств предпусковой подготовки и облегчения пуска, в частности, при конструктивной доводке перспективных дизелей ООО «ЧТЗ-Уралтрак» типа 12ЧН15/18, 6ЧН15/16, 12ЧН15/16, 12ЧН13/15.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 AVL List GmbH. -Режим доступа: <http://www.avl.com>. -01.06.2017.
- 2 Ricardo. -Режим доступа: <http://www.ricardo.com>. -01.06.2017.
- 3 Gamma Technologies, Inc. -Режим доступа: <http://www.gtisoft.com>. -01.06.2017.
- 4 Dassault Systemes. -Режим доступа: <http://www.3ds.com>. -01.06.2017.
- 5 Borutzky, W. Bond Graph Methodology. Development and analysis of multidisciplinary dynamic system models / W. Borutzky. - London: Springer-Verlag, 2010. -662 p.
- 6 Годунов, С.К. Разностный метод численного расчета разрывных решений уравнений гидродинамики / С.К. Годунов / - Матем. сб., 47(89):3 (1959), -С. 271-306.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизельный двигатель, воздухопуск, транзитные процессы, моделирование, программное

обеспечение
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Бондарь Владимир Николаевич, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ЮУНГУ» (НИУ)
 Малозёмов Андрей Адиевич, докт. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ЮУНГУ» (НИУ)
 Кукуис Владимир Самойлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ЮУНГУ» (НИУ)
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, ФГБОУ ВПО «ЮУНГУ» (НИУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВАЛОВЫХ ЛИНИЙ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПО КРУТИЛЬНЫМ КОЛЕБАНИЯМ

ООО «Мидель»
 ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного
 транспорта»

С.С. Глушков, О.Б. Лебедев

**EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE SHAFT LINES OF SHIP ENERGY INSTALLATIONS
 BY TORSION OSCILLATIONS**

Midship
 Siberian state university of water transport
 S.S. Glushkov, O.B. Lebedev

The results of field studies.

Keywords: *shafting, torsional vibrations*

Результаты натурных исследований.

Работа возмущающих моментов играет важную роль в расчете крутильных колебаний и оказывает непосредственное влияние на результаты расчета – вынужденную амплитуду колебаний и напряжения в элементах крутильно-колеблющейся системы.

Разложение крутящего момента от сил давления газов одного цилиндра может быть выполнено различными способами гармонического анализа. Результатом такого разложения является выражение

$$M_e = M_{cp} + \sum_{k>0} M_{эк} \sin(k\omega t + \psi_{эк}), \quad (1)$$

где M_{cp} – средний крутящий момент;

$M_{эк}$ – амплитуда k -ой гармоники;

k – порядок гармоники;

ω – угловая скорость вращения вала;

t – время;

$\psi_{эк}$ – начальная фаза гармоники по отношению к положению поршня в верхней мертвой точке.

Амплитуда k -ой гармоники применительно к бескомпрессорному двигателю с воспламенением от сжатия может быть определена по формуле

$$M_{ке} = \frac{\pi D^2}{m} p_c y_k, \quad (2)$$

где m – тактность двигателя ($m = 2$ для двухтактного дизеля и $m = 4$ для четырехтактного двигателя);

D – диаметр цилиндра;

R – радиус кривошипа;

p_c – давление сжатия;

y_k – гармонический коэффициент k -ой гармоники, зависящей нелинейно от давления сжатия.

Работа k -ой гармоники в пределах цикла на i -ом колене

$$A_{ki} = \pi M_{ке} a_i \sin(k\delta_i + \gamma_k), \quad (3)$$

где δ_i – угол заклинки i -ого кривошипа;

a_i – относительная амплитуда колебаний i -ой моторной массы;

γ_k – угол запаздывания k -ой гармоники, определяемый из условия максимума работы возмущающей гармоники при резонансе.

Суммируя результат, полученный по формуле (3) по всем моторным массам, получаем полную работу k -ой гармоники за цикл

$$A_k = \sum_{i=1}^q A_{ki} . \quad (4)$$

Очевидно, что работа k -ой гармоники согласно (4) зависит от относительных амплитуд колебаний и можно проследить общую тенденцию изменения работы гармонического возмущающего момента от сил давления газов в цилиндрах в зависимости от относительных амплитуд колебаний, а, следовательно, и от ее формы: работа уменьшается от одноузловой формы колебаний к четырехузловой.

В реальных системах всегда имеет место воздействие сил трения. То есть уравнения, описывающие колебания, будут составлены с учетом сил сопротивления. Следовательно, собственные частоты, полученные в результате измерений, являются решением системы уравнений вида

$$J\ddot{X} + D\dot{X} + CX = M \sin \omega t , \quad (5)$$

где C, J, D – матрицы жесткостей, моментов инерции и сил трения, которые имеют вид

$$C = \begin{bmatrix} \sum c_{1j} & -c_{12} & \dots & -c_{1m} \\ -c_{12} & \sum c_{2j} & \dots & -c_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -c_{1m} & -c_{2m} & \dots & \sum c_{jm} \end{bmatrix} ; J = \begin{bmatrix} J_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & J_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & J_m \end{bmatrix} ; D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{1m} & d_{2m} & \dots & d_{jm} \end{bmatrix} , \quad (6)$$

M – матрица-столбец возмущающих моментов.

Значения сил трения для соответствующих форм и порядков колебаний может быть получено при проведении гармонического и фазового анализа торсиограммы. Известно, что фазовый угол φ зависит от отношения частоты вынужденных и резонансных колебаний k/ω , а также от декремента затухания γ

$$\varphi = \arctg \frac{2\gamma \frac{k}{\omega}}{1 - \frac{k^2}{\omega^2}} . \quad (7)$$

Выразим из (7) γ

$$\gamma = \frac{\tg \varphi \frac{k}{\omega}}{2 \frac{k}{\omega}} . \quad (8)$$

Декремент затухания колебаний, определенный таким образом, является суммарным для всех участков торсиографируемой системы, а также для всех воздействующих видов трения. Для оценки крутильных колебаний принято учитывать работу сил сопротивления. Эта работа также будет являться суммой работ сил трения различных видов по всем участкам системы: вязкого, конструкционного, сухого и т.д. Также возможно применение работы эквивалентного коэффициента демпфирования участка системы A_ξ . Коэффициент эквивалентного демпфирования ξ учитывает все виды внешнего сопротивления, воздействующие на элементы валопротода. Работа A_ξ определяется формулой

$$A_\xi = \sum_{i=1}^q A_{\xi i} = \pi \xi k \omega \sum_{i=1}^q a_i^2 , \quad (9)$$

Работа сил трения внешних и внутренних сил сопротивления находится по формуле

$$A_{kc} = A_\xi + A_v , \quad (10)$$

где A_v – работа сил внутреннего сопротивления.

Суммарное значение A_{kc} может быть использовано для получения точного значения возмущающей функции.

Известно, что внутреннее трение в материале при циклических нагружениях характеризуется зависимостью между напряжением и деформацией. При таком механизме демпфирования энергия рассеивается почти пропорционально квадрату амплитуды деформации, а

форма петли гистерезиса практически не зависит от амплитуды и скорости деформации [1-8].

Работу сил внутреннего трения в материале на некотором i -ом участке вала определяют по формуле

$$A_{\psi} = \frac{\psi}{2} c_{ij} (a_i - a_{i+1})^2, \quad (11)$$

где ψ – коэффициент рассеяния энергии;

$a_i - a_{i+1}$ – амплитуды колебаний i -ой и $i+1$ -ой массы;

c_{ij} – жесткость участка между i -ой и $i+1$ -ой массой.

Коэффициент усиления β зависит не только от отношения частот k/ω , но и от декремента затухания γ , определенного при торсиографировании валопровода

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{k^2}{\omega^2}\right)^2 + \left(2 \frac{\gamma k}{\omega}\right)^2}}, \quad (12)$$

где ω – собственная частота колебаний системы;

k – вынужденная частота колебаний.

Амплитуда колебаний A определяется формулой

$$A = \frac{\pi M_v \sum a_i}{A_{\psi} + A_{\xi}}, \quad (13)$$

где M_v – амплитуда возмущающего момента v -ой гармоники;

$\sum a_i$ – сумма относительных амплитуд колебаний масс к которым приложен гармонический возмущающий момент.

Зная работу сил сопротивления, получим истинное значение амплитуды возмущающей гармонической функции

$$M_v = \frac{A(A_{\psi} + A_{\xi})}{\pi \sum a_i}. \quad (14)$$

Это уточненное значение M_v используется для определения напряжений в элементах системы, а также позволяет сформулировать предварительные выводы о возможных напряжениях в аналогичных крутильно-колеблющихся системах.

Кафедрой «ТиСЭУ» ФГБОУ ВО СГУВТ были проведены натурные исследования крутильных колебаний валовых линий СЭУ теплоходов пр.1741А.. Энергетическая установка теплоходов пр.1741А двухвальная. Крутильно-колеблющиеся схемы системы двигатель-двигатель левого и правого борта идентичны, каждая состоит из двигателя 6NVD26А-3 мощностью 305 л.с. при частоте вращения коленчатого вала 950 об/мин, реверс-редуктора MS-400 с передаточным отношением 1:2.99, гребного вала и гребного винта фиксированного шага. Двигатель 6NVD26А-3 оснащен силиконовым демпфером крутильных колебаний.

Расчет вынужденной амплитуды колебаний производился для частоты вращения коленчатого вала главного двигателя 600 об/мин. Амплитуда вынужденных колебаний при этом составила 0,381 рад.

Измерение крутильных колебаний судовых валопроводов левого и правого борта производились разработанным автоматизированным вычислительным комплексом БАГС-4 в соответствии с п.3 руководства Р.009-2004 РРР «Расчет и измерение крутильных колебаний валопроводов и агрегатов» и программой по торсиографированию судовых валопроводов, согласованной с Западно-Сибирской инспекцией Российского Речного Регистра. При торсиографировании амплитуду колебаний измеряют на свободном конце коленчатого вала и на валу валопровода, в доступном месте за маховиком. Масштабы записи определяются программным методом при тарировке датчика ТНК-4 на стенде. Отметчик времени работает от часов переносного компьютера и дает отметки от 0,001 до 20 с. Отметчик оборотов работает от бесконтактного датчика, установленного на валу.

На рисунках 1 и 2 приведены записи спектрограмм, полученных на автоматизированном анализаторе при исследовании крутильных колебаний на свободном конце коленчатого вала соответственно на левом и правом борту. Ось абсцисс показывает амплитуду колебаний в раз, по оси ординат показана частота в герцах.

Быстрота уменьшения максимумов кривой характеризуется коэффициентом затухания

$$\xi = \frac{A_i}{A_{i+1}} = \exp\left(\frac{2\pi D}{\sqrt{1-D^2}}\right), \quad (15)$$

где A_i – амплитуда i -ого периода;
 D – степень успокоения, равная

$$D = \frac{\ln \frac{A_i}{A_{i+1}}}{2\pi \sqrt{1 + \left(\ln \frac{A_i}{A_{i+1}} / 2\pi\right)^2}}. \quad (16)$$

На спектрограмме по оси абсцисс определяется амплитуда колебаний с учетом степени успокоения для любого порядка гармонических колебаний соответствующей частоты вращения коленчатого вала ДВС.

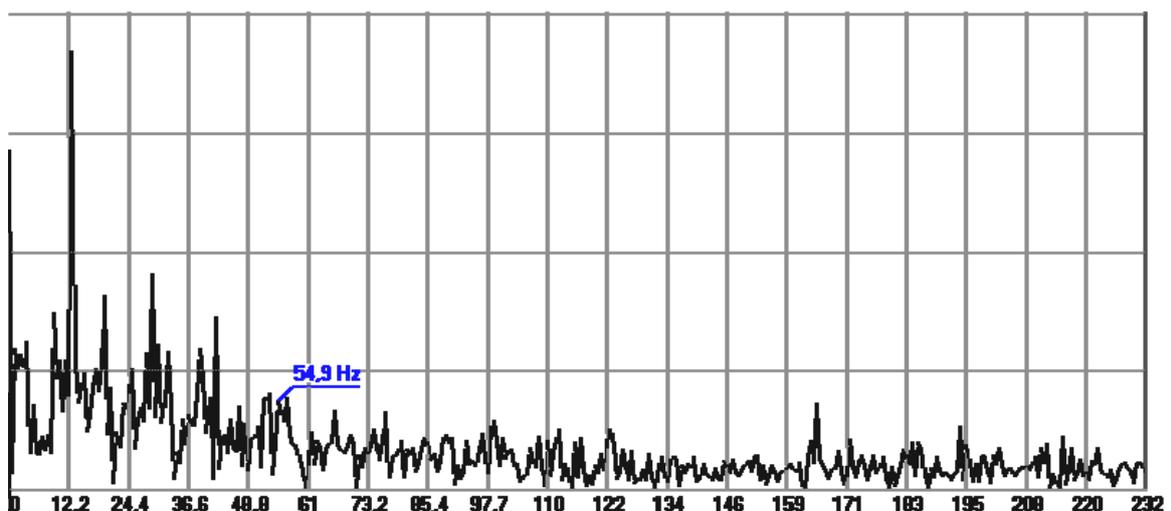


Рисунок 1 – Спектрограмма валопровода левого борта теплохода при частоте вращения коленчатого вала главного двигателя 600 об/мин

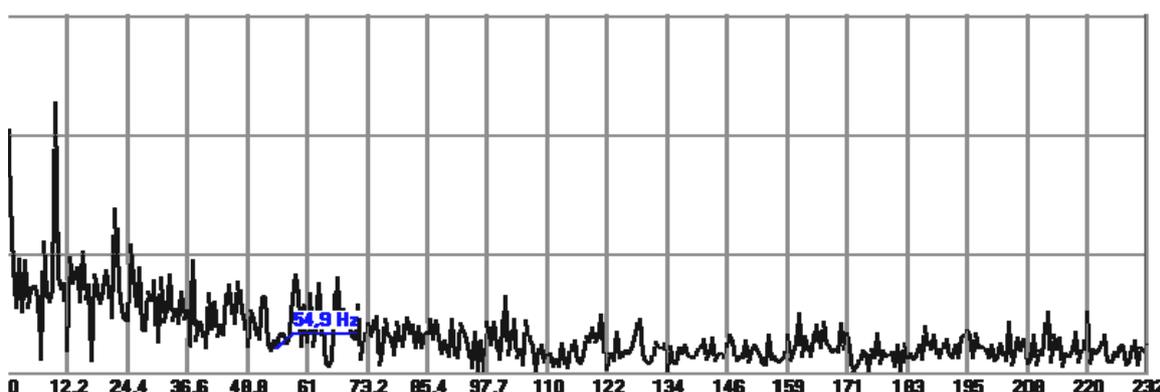


Рисунок 2 – Спектрограмма валопровода правого борта теплохода при частоте вращения коленчатого вала главного двигателя 600 об/мин

Для определения коэффициента или декремента затухания на полученных спектрограммах замерялись амплитуды колебаний. Среднее арифметическое значение измеренной амплитуды вычислялась по формуле

$$A_{uzm} = \frac{J_i^n A_i}{n}, \quad (17)$$

где A_i – результат одного i -ого замера;
 n – число оборотов.

Анализ полученных спектрограмм позволяет сделать следующие выводы:

– колебания коленчатого вала и огибающая выходного сигнала имеют одинаковый пе-

риод повторений как для СЭУ левого борта, так и правого борта;

– колебания коленчатого вала не строго периодичны ввиду неравномерности вращения по амплитуде и фазе;

– при прочих равных условиях величина декремента затухания зависит только от амплитуды колебаний вибрационных сигналов;

– в районе рассчитанных собственных частот: декремент затухания валовой линии правого борта в среднем $\delta = 1,967\%$ меньше декремента затухания валовой линии левого борта, в среднем $\delta = 2,044\%$.

Сравнивая декременты затуханий можно сделать вывод: техническое состояние валовой линии СЭУ т/х пр.1741А левого борта находится в худшем состоянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Глушков, С.П. Динамические характеристики ДВС / С.П. Глушков, С.С. Глушков, С.С. Савельев, А.В. Ярославцева // Сибирский научный вестник X: сб. научн. тр. Сиб. отдел. Рос. акад. естеств. наук. -Новосибирск: Изд. Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2007. -С. 164.

2 Глушков, С.П. Математическое моделирование вынужденных колебаний валовых линий судовых энергетических установок / С.П. Глушков, С.С. Глушков, О.Б. Лебедев, В.В. Коновалов // -Научн. пробл. транс. Сиб. и Дальн. Вост. -2013. -№1. -С. 237-242.

3 Глушков, С.П. Методология исследования регрессий критериальных деталей энергетических установок по динамическим характеристикам / С.П. Глушков, С.С. Глушков, О.Б. Лебедев // -Научн. пробл. транс. Сиб. и Дальн. Вост. -2012. -№2. -С. 206-208.

4 Глушков, С.П. Автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс для регистрации крутильных колебаний энергетических установок БАГС-4 / С.П. Глушков, А.М. Барановский, С.С. Глушков // Сибирский научный вестник IX: сб. научн. тр. Сиб. отдел. Рос. акад. естеств. наук. -Новосибирск: Изд. Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2006. -С. 109.

5 Глушков, С.С. Совершенствование методологии измерения крутильных колебаний / С.С. Глушков, С.П. Глушков, И.А. Круглов, А.А. Иванов // -Вестн. Мурм. гос. техн. унив. -2015. -Т.18. -№4. -С. 700-708.

6 Глушков, С.П. Модель идентификации технического состояния судовых энергетических установок на основе динамических откликов / С.П. Глушков, В.В. Коновалов, Б.О. Лебедев // -Научн. пробл. транс. Сиб. и Дальн. Вост. -2014. -№1-2. -С. 226-228.

7 Глушков, С.П. Оценка деградации технического состояния коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания по динамическим характеристикам / С.П. Глушков, О.Б. Лебедев // -Научн. пробл. транс. Сиб. и Дальн. Вост. -2013. -№2. -С. 191-194.

8 Глушков, С.П. Идентификация изменения технического состояния транспортного подвижного состава / С.П. Глушков, В.В. Коновалов // Научн. пробл. транс. Сиб. и Дальн. Вост. -2014. -№3. -С. 139-147.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *валопровод, крутильные колебания*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Глушков Сергей Сергеевич, канд. техн. наук, директор ООО «Мидель»
Лебедев Олег Борисович, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630004, г.Новосибирск, а/я 129, ООО «Мидель»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССОВ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШТАТНОГО СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

В.В. Тарасов, П.В. Кулямов, Е.М. Деревцов

MAIN THEORETICAL REGULARITIES OF THE PROCESSES OF REGENERATION OF WORKED MOTOR OILS WITH THE USING OF STAFF SHIPS EQUIPMENT

Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
V.V. Tarasov, P.V. Kulyamov, E.M. Derevtsov

It is considered the possibility of using the ships equipment of cleaning systems and preparation for the use of fuels and lubricants with additional use of the cyclone vacuum thermal evaporator of the modular mobile installation RUMS-1. In order to obtain a mathematical model of the processes of removal of insoluble impurities, water and light fuel fractions from the used engine oil, the regularities of these processes are given, taking into account the variety of methods and mechanisms for their implementation.

Keywords: resource-saving oil use, marine oil and fuel cleaning equipment, cyclone evaporator, used engine oil, regenerated and reduced oil

Рассмотрена возможность применения в процессе регенерации отработанного моторного масла дизелей штатного судового оборудования систем очистки и подготовки к использованию горюче-смазочных материалов с дополнительным использованием циклонного вакуум-термического испарителя модульной мобильной установки РУМС-1. С целью получить математическую модель процессов удаления нерастворимых примесей, воды и легких топливных фракций из отработанного моторного масла приведены закономерности данных процессов с учетом многообразия способов и механизмов их реализации.

Несмотря на достаточное количество производимых моторных минеральных масел, потребители постоянно испытывают в них недостаток. Это является следствием высокой стоимости масел и отсутствием системы регенерации отработанных моторных масел (ОММ) для повторного использования после восстановления их свойств. В процессе использования в двигателях масла подвергаются глубоким физико-химическим изменениям [1, 3].

Несмотря на глубокие изменения, происходящие в масле в процессе эксплуатации, его основной углеводородный состав меняется незначительно. Если из масла удалить все инородные примеси и продукты окисления, общее количество которых не превышает 4-6%, дополнить его недостающими компонентами, в частности, присадками и компаундированием минеральным равным по составу товарному маслу надлежащего качества [2, 3] добавками в виде товарных масел, то можно получить продукт, близкий к исходному.

Для решения данной задачи нужен надёжный и простой способ очистки отработанных моторных минеральных масел от инородных примесей с соответствующими технологическими операциями по доведению этих масел до уровня товарных. Именно на этом принципе базируется предлагаемый в работе многоступенчатый варьируемый способ очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств ОММ [1-3, 6, 7].

Наиболее распространённым является очистка масла от нерастворимых примесей, воды и лёгких топливных фракций с целью использования их в неответственных узлах и системах судовых энергетических установок (СЭУ), такие масла имеют недостаточную область повторного использования и не могут без улучшения основных химико-физических свойств в полной мере использоваться в двигателях СЭУ [4, 5].

С целью улучшения переработки этих масел и применения их по прямому назначению существует возможность использования для регенерации ОММ судовое штатное оборудование различных систем СЭУ, например: фильтры грубой и тонкой очистки масляной и топливной систем главного двигателя и вспомогательных дизель генераторов; центробежные сепараторы различных модификаций систем СЭУ; гидроциклоны и центрифуги; сепараторы для очистки различных технологических жидкостей, применяемых в различных системах судна; теплообменные аппараты систем СЭУ; кубовые устройства для отстаивания загрязнённых технологических жидкостей и так далее.

Так, физико-химические свойства характеризуются такими основными показателями, как: плотность, вязкость, температура, вспышки и застывания, щелочное и кислотное число, наличие механических примесей и воды. Изменение этих показателей свыше допустимых норм (ГОСТ Р51634-2000) ведёт к ограничению использования масел или к необходимости корректировки показателей качества, а в случае невозможности доведения их до норм такие масла следует выбраковывать [8, 9].

В зависимости от последующего назначения переработка отработанных минеральных моторных масел может проводиться по нескольким направлениям.

Известны различные способы очистки и восстановления ОММ основанные на физических, физико-химических, химических и других процессах, заключающихся в удалении из масел нерастворимых примесей, топливных фракций и воды, продуктов старения и разложения масла [10, 11].

Наиболее широко применяются и освоены методы очистки масел в силовом поле с использованием гравитационных, центробежных, электрических, магнитных и вибрационных сил, а также водной промывкой, выпариванием и вакуумной дистилляцией. К этим методам можно отнести и различные массо- и теплообменные аппараты [7, 9, 12].

Естественный гравитационный метод очистки масел от загрязняющих примесей и воды - это отстаивание масел при обычных температурах - прост, но малоэффективен и длителен. Степень очистки примесей составляет не более 20-80 мкм при обычных температурах, а при минусовых он вообще не эффективен. Также эффективность отстаивания снижают присутствующие в маслах моющие и диспергирующие присадки, которые препятствуют агрегированию частиц загрязнений и коагуляции микрокапель воды.

Процесс отстаивания зависит от плотности, вязкости и степени загрязнённости масел и не обеспечивает необходимой чистоты масла. Поэтому этот метод применяют чаще всего для предварительной очистки.

Продолжительность очистки масел от различных инородных примесей значительно сокращается при использовании центробежных сил путём вращательного движения масла в неподвижных аппаратах (гидроциклонах) и подачи масла во вращающиеся аппараты (центрифуги, сепараторы).

В настоящее время наиболее широко используются центрифуги с электрическим, механическим и гидравлическим приводом. Гидравлический привод осуществляется с помощью реактивного соплового устройства, использующего энергию потока отчищаемого масла. Конструкции этих устройств отличаются, способом, подачи масла и, по частоте вращения ротора подразделяются на низко- и высокочастотные.

Используемые магнитные очистители эффективно удаляют образующиеся в результате износа деталей машин ферромагнитные частицы, при этом под действием сил электрического поля происходит частичное обезвоживание масла.

Для ускорения очистки загрязненных масел используют вибрационные очистители. В таких установках загрязнённые масла, находясь в поле упругих колебаний, более динамично освобождаются от твёрдых частиц за счёт их коагуляций.

Одним из способов очистки является водная промывка, позволяющая удалять из масел водорастворимые низкомолекулярные кислоты, соли органических кислот и некоторую долю сработавшихся углеводородных соединений.

Выпаривание (при температуре 80-110 °С) масел обеспечивает обезвоживание и удаление из них легкокипящих топливных фракций. Этот процесс весьма энергоёмок и продолжителен, реализуется при давлении 25-30 кПа и требует специальных нагревателей и вакуумных устройств.

Также, из физических методов, наиболее широко используется фильтрование масел. Метод фильтрование заключается в пропускании масла через пористые перегородки, изготовленные из бумаги, специальных тканей или всевозможных набивок из различных материалов и др. Фильтрование обеспечивает тонкость фильтрации при грубой очистки – 70-100 мкм, средней – 20-70 мкм, тонкой – 1-20 мкм, ультрафильтрация – менее 0,1 мкм. Недостаток метода - большой расход эксплуатационных материалов, необходимость утилизации отработанных фильтрующих элементов, уменьшение эффективности очистки при снижении пропускной способности фильтра (по времени функционирования). В последнее время ведутся работы по внедрению полупроницаемых мембран (очистка до 0,1 мкм и выше) они экономически просты, но требуют периодической промывки.

Таким образом, анализ недостатков и преимуществ указанных процессов позволяет сделать выводы о возможности их применения в судовых условиях. Поэтому представляет интерес теоретическое обоснование технологических параметров и конструкций модулей установки для очистки и восстановления ОММ от загрязнителей [12-14].

Основные теоретические закономерности вышеуказанных процессов удаления механических примесей и водо-топливных фракций (ВТФ) из ОММ характеризуются следующими параметрами:

– скорость осаждения частиц v_{oc} загрязнителей в процессе гравитационного отстаивания масла определяется по формуле

$$v_{oc} = \frac{2r_c^2 \left[\frac{\rho_c^0}{1 + \beta t} - \rho(t) \right]}{9\gamma_n \left(\frac{T_k}{T_n} \right)^k}, \quad (1)$$

где r_c – приведенный радиус частицы нерастворимых примесей, м;

ρ_c^0 – плотность частиц, исходная, кг/м³;

β – коэффициент объемного расширения материала частиц;

t – температура частицы относительно начального состояния t_n , °С;

γ_n – начальная кинематическая вязкость масла (при температуре T_n), мм²/с;

T_k, T_n – конечная и начальная температуры масла, К;

k – коэффициент, определяемый опытным путем (для моторного масла $2,53 \leq k < 3,27$).

Анализ данных этой формулы показывает, что управляемым параметром является плотность, зависящая от температуры очищаемого масла. Для учета конвекционных потоков и ряда других факторов вводится обобщенный коэффициент $k_{об}$, который является функцией некоторой постоянной величины C_k и размера частиц

$$k_{об} = C_k - d_{ч.пр}, \quad (2)$$

где $d_{ч.пр}$ – диаметр частиц примесей, м.

Скорость осаждения частиц нерастворимых примесей также будет зависеть от объемного их содержания в масле – $V_{пр}$.

С учетом вышеизложенных положений скорость осаждения частиц нерастворимых примесей примет вид

$$v_{пр} = \frac{2r_c^2 \left[\frac{\rho_c^0}{1 + \beta t} - \rho(t) \right] V_{пр}}{9\gamma_H \left(\frac{T_K}{T_H} \right)^k k_{об}}. \quad (3)$$

Следует добавить, что при повышении температуры масляной среды до 80-100 °С происходит сокращение длительности осаждения нерастворимых частиц в 2-3 раза. Процесс выделения частиц воды из масла в поле гравитационных сил при обычных температурах (18-25 °С) недостаточно эффективен. Он может длиться от одних суток до нескольких месяцев.

Разделение масляной среды методом выпаривания базируется на обычных теплотехнических закономерностях, отражающих процессы, происходящие при переходе воды в парообразное состояние и последующем ее свободном выводе из масляной среды за счет испарения.

Количество связанной воды $n_в$, которое может быть выделено из масла за счет теплообмена (испарительного эффекта), будет равно

$$n_в = R_{MH} T Q_{опт}^{-1} \ln \frac{n_ж K T P_{вн}}{P_H^2}, \quad (4)$$

где R_{MH} – удельная газовая постоянная системы (в данном случае масла), кДж/кг;

T – абсолютная температура, К;

$Q_{опт}$ – количество тепла необходимое для испарения воды, связанной с маслом, кДж;

$n_ж$ – число молекул воды (плотность молекул воды);

K – постоянная Больцмана;

$P_{вн}$ – внешнее давление образующегося пара, Па;

P_H – давление насыщенного пара, Па.

Скорость испарения воды и легких углеводородных топливных фракций $v_{пр}^{уз}$ определяется следующим образом

$$v_{пр}^{уз} = \frac{n_в}{\tau} = R_{MH} T Q_{опт}^{-1} \tau^{-1} \ln \frac{n_ж K T P_{вн}}{P_H^2}, \quad (5)$$

где τ – продолжительность технологического цикла выпаривания, ч.

Таким образом, выпаривание воды зависит от температурного состояния системы и ее параметров: давления, теплотехнических параметров, продолжительности процесса, количества воды в масле.

Очистка масла в гидроциклоне зависит от параметров воздушного столба, возникающего вследствие разрежения вдоль оси гидроциклонного аппарата. Диаметр воздушного столба определяется

$$d_0 = D c_1 \sqrt{\frac{1}{\frac{2P_0}{\rho_0 v_{от}^2} + 1 + A_\psi^2 \left[\cos^2 \beta_0 \operatorname{tg}^4 \beta_0 (1 + \operatorname{tg}^2 \beta_0) - 4(1 - \cos \beta_0)^2 \right]}}, \quad (6)$$

где D – диаметр гидроциклона, м;

c_1 – коэффициент, определяемый из граничных условий;

P_0 – давление у стенки гидроциклона, Па;

ρ_0 – плотность масла, кг/м³;

$v_{от}$ – окружная скорость масла у входного отверстия, м/с;

β_0 – угол полураствора конуса гидроциклона, град.;

A_ψ – коэффициент геометрии гидроциклона.

Для гидроциклонных аппаратов при определении степени очистки масла справедлив

закон Стокса

$$\sigma = \frac{3}{v_{от}} \sqrt{\frac{2\rho_0\gamma}{\rho - \rho_0}} v_{ор} r, \quad (7)$$

где ρ – плотность отделяемой среды (частиц), кг/м³;
 γ – кинематическая вязкость масла, мм²/с;
 $v_{ор}$ – радиальная скорость масла у входного отверстия, м/с;
 r – радиус гидроциклона, м.

Таким образом, степень очистки ОММ от загрязнителей будет зависеть от геометрических параметров гидроциклона и давления масла на входе в гидроциклон.

Для отделения частиц в полнопоточной центрифуге, существенное значение имеют: скорость осаждения частиц загрязнений $v_{рп}$ и время пребывания частицы в роторе центрифуги τ .

Скорость осаждения частиц нерастворимых примесей

$$v_{рп} = A \frac{d\Delta E V_{пр}}{\gamma}, \quad (8)$$

где A – коэффициент пропорциональности, определяемый опытным путем ($A = 1 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-5}$ при $E = 2,7 \cdot 10^4 - 3,6 \cdot 10^4$ м/с²);
 d – диаметр частицы, м;
 Δ – разность плотностей нерастворимых примесей и масла, кг/м³;
 E – напряженность поля, м/с²;
 $V_{пр}$ – объемное содержание нерастворимых примесей;
 γ – кинематическая вязкость масла, мм²/с.

Время пребывания частицы в роторе центрифуги зависит от частоты вращения

$$\tau = \frac{180}{\pi} \sqrt{\frac{(R_{бр} - r_{кр})\gamma}{(R_{бр} + r_{кр})nd^2(\rho_1 - \rho_2)}}, \quad (9)$$

где $R_{бр}, r_{кр}$ – радиусы барабана и колонки ротора, м.

Таким образом, степень очистки масла будет определять параметры: радиус колонки $r_{кр}$ и барабана ротора $R_{бр}$, время нахождения частицы в роторе τ , зависящее от скорости осаждения $v_{рп}$.

При магнитной очистке, расчет эффективности отделения металлических загрязнителей производится по величине удерживающей силы магнита

$$F_m = 0,577B^2S, \quad (10)$$

где B – магнитная индукция, Тл;
 S – площадь рабочей поверхности магнита, м².

Расчет магнитной индукции цилиндрического магнита, используемого в модульной установке, производится по формуле

$$B = \frac{B_r}{2} \left[\frac{d + \ell}{\sqrt{d^2 + \ell^2 + r^2}} - \frac{d}{\sqrt{d^2 + r^2}} \right], \quad (11)$$

где B_r – остаточная индукция, Тл;
 r, ℓ – радиус и длина магнита, м;
 d – расстояние от поверхности магнита до частицы, м.

Таким образом, эффективность отделения металлических загрязнений будет зависеть от радиуса r и длины ℓ магнита.

Эффективность фильтрования характеризуется удельной пропускной способностью войлочного фильтрующего элемента

$$K = \frac{\gamma v_\phi l_\phi}{\Delta P}, \quad (12)$$

где v_ϕ – скорость фильтрации, м/с;
 l_ϕ – толщина фильтрующей перегородки, м;
 ΔP – разность давления на входе и выходе из фильтра, МПа

$$\Delta P = P_1 - P_2.$$

Введя значение гидравлического сопротивления в уравнение (12), получим

$$K = \frac{\gamma v_{\phi} l_{\phi} S_{\phi} (1 - \sigma_3)}{(V_1 - V_2) q \sigma_3 \xi}, \quad (13)$$

где V_1, V_2 – объем масла подаваемого на фильтрацию и вышедшего с фильтра, м³;

q – удельный вес масла, кг/м³;

ξ – удельное сопротивление фильтра, МПа/м²;

σ_3 – примеси, задержанные фильтрующим материалом, %

$$\sigma_3 = \sigma_1 - \sigma_2,$$

σ_1, σ_2 – концентрация примесей в масле до и после фильтрации, %.

Таким образом, удельная пропускная способность фильтра будет зависеть от свойств фильтрующего материала, концентрации загрязнений и объема фильтруемого масла.

Заключительный процесс - компаундирование ОММ, представляет собой емкость с мешалкой для его качественного перемешивания с рекомендуемыми присадками и минеральными добавками для частичного или полного восстановления исходных эксплуатационных свойств масла [9, 14].

С использованием формул (1)-(13) были выполнены расчеты конструктивных и режимных параметров отдельных технических средств модульной установки.

Таким образом, для очистки отработанных моторных масел и восстановления их физико-химических показателей могут применяться различные способы, методы и штатные судовые технические средства, позволяющие удалить из масла твердые загрязнения, воду и легкие топливные фракции.

Анализ способов очистки масел показал, что наиболее широко используется центробежная очистка [14, 15]. Опыт использования центробежных очистителей показал следующее:

- центробежные очистители (центрифуги) имеют высокую сепарирующую способность; эти устройства качественно работают в широком диапазоне рабочих температур масла; их рабочие характеристики в процессе эксплуатации остаются постоянными;

- центробежные очистители имеют практически неограниченный срок работы; их ресурс значительно выше других; по объему грязеемкости они превосходят лучшие объемные фильтры;

- центрифуги обладают большой избирательной способностью к загрязнителям; они просты в эксплуатации и обслуживании.

Анализ свойств устройств и способов регенерации ОММ позволяет сделать вывод, что для регенерации ОММ в судовых условиях желательнее применение центробежных очистителей, как устройств позволяющих осуществлять контролируемый уровень глубины очистки ОММ от нерастворимых примесей (НРП) для так называемой «мягкой» регенерации ОММ, то есть с сохранением несработавшей части многофункциональных присадок, которая скоагулирована на поверхности мелкодиспергированных НРП [1, 3-5, 14, 15]. Таким образом «мягкая» регенерация сохраняет часть, необходимых для восстановления эксплуатационных свойств ОММ, многофункциональных примесей, что удешевляет регенерацию ОММ.

Для выполнения этих рекомендаций авторами разработана схема регенерации и восстановления ОММ с использованием штатного судового сепарационного оборудования и добавленного в эту схему циклонного вакуум-термического испарителя [1, 2] (рисунок).

Полное восстановление эксплуатационных свойств масла возможно при регенерации и может условно рассматриваться как его капитальный ремонт. При этом все операции по его регенерации и восстановлению качества (потребительских свойств), выполненное на местах потребления моторных масел, можно рассматривать как операцию технического обслуживания и текущего ремонта.

Весьма заманчивым является идея не только регенерировать ОММ на судах, но и восстановить их моторные свойства за счет ввода многофункциональных присадок. При этом желательна «мягкая» регенерация масла, чтобы при удалении вредных веществ (продуктов старения) частично сохранить полезные свойства, обусловленные несработавшимися присадками. Такую регенерацию моторного масла на судне может обеспечить компактная регенерационная установка РУМС-1 [1].

Технологическая схема ее использования (рисунок) позволяет с помощью судового регенератора осуществить глубокую очистку ОММ от мелкодиспергированных НРП и воды, удалить из него на основе вакуумно-пленочного испарения низкокипящие углеводородные и кислородосодержащие фракции – топливо и продукты старения масла. Эффективность РУМС-1 показана в работе [2-5].

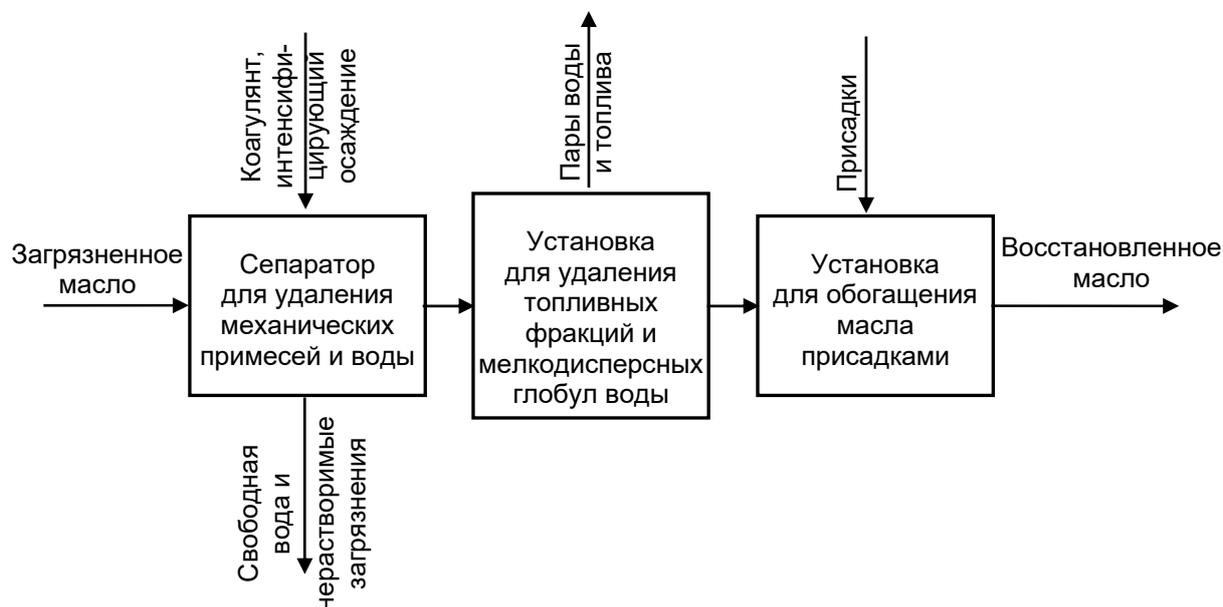


Рисунок – Схема регенерации и восстановления отработанного моторного масла в судовых условиях

Допустимый уровень содержания в регенерированном моторном масле (РММ) нерастворимых примесей, воды, асфальтенов, смол и других продуктов старения обоснован результатами его моторных испытаний [2, 3]. В зависимости от концентрации в нем полезных компонентов (присадок) РММ можно использовать для смазки вспомогательных механизмов, применять в двигателе с понижением моторной группы масла или восстанавливать его эксплуатационные свойства до исходного уровня легированием специальными присадками.

Эффективность использования регенерированных масел в ДВС с понижением их моторной группы на примере дизеля 2Ч10,5/13 была показана ранее [4]. А эффективность применения в форсированном дизеле регенерированного отработанного масла М10Г₂ЦС (ГОСТ 12337-84), восстановленного до исходного уровня моторных свойств дополнительным легированием – вводом композиции присадок: 5,4% МАСК, 2,7% ПМС(Б), 2% ВНИИНП-354 представлена в работе [5]. Соотношение между концентрациями вводимых присадок каждого типа было такое же, как в свежем масле М10Г₂ЦС.

Таким образом, разработка простой, доступной широкому потребителю технологии очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел в судовых условиях является актуальной задачей и может принести значительный экономический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Тарасов, В.В. Принципиальная схема установки по регенерации отработанного моторного масла в судовых условиях / В.В. Тарасов, П.В. Кулямов // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2015. -№2. -С. 175-179.
- 2 Тарасов, В.В. Научные ответы на вызовы современности: техника и технологии: монография / В.В. Тарасов, Г.П. Кича и др. -Одесса: Куприенко СВ, 2016. -177 с.
- 3 Кича, Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях: монография / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин. -Владивосток: изд. Мор. гос. ун-та, 2011. -372 с.
- 4 Тарасов, В.В. Оценка эффективности использования регенерированного моторного масла в судовых дизелях / В.В. Тарасов // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2010. -№2. -С. 146-152.
- 5 Тарасов, В.В. Результаты эксплуатационных сравнительных испытаний в судовом форсированном дизеле регенерированного и товарного моторного масел / В.В. Тарасов // -Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. -2016. -Декабрь. -С. 29-36.
- 6 Шашкин, П.И. Регенерация отработанных нефтяных масел / П.И. Шашкин, И.В. Брай. -М.: Химия, 1970. -304 с.
- 7 Чуржуков, Е.С. Современные способы и средства регенерации отработанных масел: обзорная информация / Миннефтехим СССР. -М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1987. -76 с.
- 8 Сафонов, А.С. Химмотология горюче-смазочных материалов / А.С. Сафонов, А.И. Ушаков, В.В. Гришин. -СПб: НПИКЦ, 2007. -488 с.

- 9 Ставицкий, Н.М. Регенерация отработанных масел / Н.П. Ставицкий // -Автомобильная промышленность. -1987. -№9. - С. 56-59.
- 10 Большаков, Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов / Г.Ф. Большаков. -Л.: Недра, Ленинградское отд., 1982.-350 с.
- 11 Рыбаков, К.В. Сбор и очистка отработанных масел: обзорная информация. Госагропром СССР / К.В. Рыбаков и др.. - М.: АгроНИИТИИТО; 1988: -13 с.
- 12 Замальдинов, М.М. Модульная линия очистки отработанных минеральных моторных масел от загрязнений / М.М. Замальдинов, А.А. Глуценко, Е.И. Кубеев // Изв. Санкт-Петерб. гос. аграрн. унив. №20. -СПб.: Санкт-Петерб. гос. аграрн. унив., 2010. -С. 306-311.
- 13 Замальдинов, М.М. Очистка отработанных минеральных моторных масел центрифугированием / М.М. Замальдинов // - Вестн. Ульяновской гос. строит.-худ. акад. -2011. -№1. -С. 93-98.
- 14 Сафаров, К.У. Исследования повышения качества моторных масел / К.У. Сафаров, В.М. Холманов, М.М. Замальдинов // - Вестн. Ульяновской гос. строит.-худ. акад. -2000. -№3. -С. 65-67.
- 15 Лышко, Г.П. Рациональное использование топлива и смазочных материалов для сельскохозяйственной техники / Г.П. Лышко. -Кишинев, 1986. -280 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *ресурсосберегающее маслоиспользование, судовое оборудование очистки масла и топлива, циклонный испаритель, отработанное моторное масло, регенерированное восстановленное масло*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Тарасов Валерий Васильевич, профессор ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
Кулямов Павел Владимирович, аспирант ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
Деревцов Евгений Михайлович, аспирант ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА С ПОМОЩЬЮ ЦИКЛОННОГО ВАКУУМ-ТЕРМИЧЕСКОГО ИСПАРИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

В.В. Тарасов, Е.П. Патенкова, Е.М. Деревцов

DETERMINATION OF PARAMETERS FOR MAINTAINING THE PROCESS OF REGENERATION OF USED ENGINE OIL BY MEANS OF A CYCLONE VACUUM-THERMAL EVAPORATOR BASED ON THE EXPERIMENTAL STATISTICAL MODEL
Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
V.V. Tarasov, E.P. Patenkova, E.M. Derevtsov

The application of mathematical methods for the optimal design of the experiment with a view to obtaining a mathematical model of the process of removing water and light fuel fractions from the used engine oil of the marine diesel engine during its regeneration in the mobile modular unit RUMS-1 is considered taking into account its multifactority and incomplete information on the mechanism of this process. The directions of the effect of oil and fuel operational oil contamination during their joint removal in a cyclone vacuum-thermal evaporator are analyzed.

Keywords: experiment planning, experimental-statistical model, regression equation, cyclone evaporator, resource-saving oil used, engine oil, waste oil, regenerated oil reduced

Рассмотрено применение математических методов оптимального планирования эксперимента с целью получения математической модели процесса удаления воды и легких топливных фракций из отработанного моторного масла судового дизеля при его регенерации в мобильной модульной установке РУМС-1, учитывая его многофакторность и неполные сведения о механизме данного процесса. Анализируются направления влияния эксплуатационного загрязнения масла водой и топливом при их совместном удалении в циклонном вакуум-термическом испарителе.

В процессе эксплуатации механизмов, двигателей, транспортировании и хранении смазочных масел происходит их загрязнение топливом, водой и хладагентами. Для судовых условий эксплуатации в результате загрязнения смазочных масел жидкими загрязнителями бракуется от 50 до 70% масел [1].

В отработанном моторном масле (ОММ) накапливаются продукты старения, агрессивность которых при наличии воды значительно активизируется. Если из масла удалить воду и продукты старения и эксплуатации ДВС, то можно получить базовое масло хорошего качества [1, 2, 4]. Представлены экспериментальные результаты по удалению воды и легких фракций топлива из отбракованного моторного масла [2, 4, 5].

В дизеле рабочее моторное масло подвергается воздействию целого ряда физико-химических процессов приводящих к изменению его эксплуатационных качеств, оказывающих большое влияние на надежность и долговечность работы двигателя внутреннего сгора-

ния. Одним из важных показателей качества моторного масла в двигателе являются температура вспышки и вязкость, которые при попадании в него топлива ухудшаются, что может привести к потере надежности работы агрегата, и масла, в этом случае, отбраковываются и подлежат регенерации с восстановлением указанных параметров до эксплуатационных [1, 3, 8]. Увеличение температуры вспышки и повышения вязкости достигается за счет удаления легких топливных фракций из отработанного моторного масла [2, 3, 4].

Считается, что при годовом объеме потребления масел более 10 т, капитальные вложения в очистку и регенерацию отработанного моторного масла (ОММ) на месте потребления полностью окупаются при наличии стационарной малогабаритной установки [1, 2, 8].

Авторами разработана модульная мобильная малогабаритная установка «РУМС-1» (регенерационная установка для масел судовая) и способ регенерации масла для интенсификации процесса дистилляции жидких загрязнителей из ОММ и повышения экономичности ее работы за счет возможности организации тонко-пленочного течения ОММ в циклонном вакуум-термическом испарителе (ЦВТИ), где отсутствует крекинг, выгорание масла и унос масляных фракций вместе с испаряющейся водой и легкими фракциями топлива [1, 2]. За счет вакуума и температуры из ОММ удаляются водо-топливные фракции (ВТФ) [2-5]. Для процесса удаления ВТФ на судне возможно использования утилизационного тепла судовой энергетической установки и вакуумирования ЦВТИ за счет работы судовых систем и механизмов [6, 8]. Результаты экспериментальных испытаний РУМС-1 показали, что установка обеспечивает стабильность процесса регенерации ОММ в условиях статических и динамических воздействий и линейных и угловых перемещений (наклонов) на нее при эксплуатации судна – крен, дифферент, качка.

В лабораторной установке осуществляется контроль следующих параметров:

- температура масла в емкости;
- температура масла после подогревателя (перед форсункой);
- температура поверхности камеры испарения в двух точках;
- давление (вакуум) в камере испарения;
- объем отогнанных из масла фракций.

Целью данной работы является разработка комплексной модели процесса совместного удаления воды и легких топливных фракций из отработанного моторного масла судового дизеля при его эксплуатационном загрязнении с параметрами показателей вязкости и температуры вспышки моторного масла выше браковочных, определенных регламентируемыми документами, из-за наличия ВТФ [3, 6, 7]. Для проведения эксперимента были использованы модельные смеси с эксплуатационными загрязнениями ВТФ: водой – 2,15% ; 3,1% и топлива – 2,5%; 5,0% [3-5, 7]. Испытания по регенерации ОММ – удаление ВТФ, были проведены на модульной мобильной установке РУМС-1 [2]. Качественные показатели ОММ и регенерированного моторного масла (РММ) определялись в химмотологической лаборатории химмотологии кафедры СДВС судомеханического факультета МГУ им. адм. Г.И. Невельского по установленным отраслевым методикам.

В работе [7] было рассмотрено применение математических методов оптимального планирования эксперимента с целью получения математической модели процесса удаления воды из ОММ. Параметрические исследования совместного одновременного удаления ВТФ проводились в соответствии с планом эксперимента на основании некомпозиционного плана второго порядка в виде полинома второй степени [7, 9]. Ценность такого математического описания заключается в том, что оно, на основании экспериментальных данных, даёт информацию о влиянии факторов; позволяет количественно определять значения функций отклика при заданных режимах ведения процесса; может служить основой для оптимизации эффективности удаления ВТФ из ОММ при использовании установки «РУМС-1» на проток (однократный проход регенерируемого масла через ЦВТИ).

В качестве критерия эффективности процесса удаления воды из отработанного моторного масла был выбран технологический параметр – процентное соотношение количества конденсата удаляемых паров воды и легких фракций топлива к первоначальным браковочным показателям – содержание воды и топлива в ОММ. Зависимость эффективности процесса удаления воды из ОММ от влияющих на него факторов можно выразить функциональной связью

$$\varphi_{\text{в}} = f(Q, P_{\text{вск}}, t), \quad (1)$$

а легких топливных фракций

$$\varphi_m = f(Q, P_{\text{вак}}, t). \quad (2)$$

В исследовании переменными приняты следующие факторы:

Q – производительность циклонного вакуум-термического испарителя (ЦВТИ) по приготовленным модельным смесям исследуемого состава ОММ;

$P_{\text{вак}}$ – вакуум в ЦВТИ во время процесса регенерации;

t – температура в ЦВТИ во время процесса регенерации.

В качестве параметров оптимизации приняли эффективность процесса удаления воды y_e и лёгких топливных фракций y_m из ОММ. На основе априорной информации были выбраны уровни и интервалы варьирования факторов (таблица 1).

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Кодовое значение	Уровни факторов			Интервал варьирования
		верхний +1	основной 0	нижний -1	
Производительность, Q , л/ч	x_1	65	40	15	25
Давление вакуума, $P_{\text{вак}}$, МПа	x_2	0,075	0,045	0,015	0,030
Температура, t , °С	x_3	180	145	110	35

Для получения моделей процесса в виде полинома второй степени реализован некомпозиционный план второго порядка [9]. Матрица планирования и результаты эксперимента приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица планирования и результаты эксперимента

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	y_e	y_m
1	+	+	+	0	+	0	0	+	+	0	95,63	55,42
2	+	+	-	0	-	0	0	+	+	0	75,25	34,54
3	+	-	+	0	-	0	0	+	+	0	44,75	30,21
4	+	-	-	0	+	0	0	+	+	0	31,50	29,10
5	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86,75	42,68
6	+	+	0	+	0	+	0	+	0	+	91,29	53,53
7	+	+	0	-	0	-	0	+	0	+	68,00	34,40
8	+	-	0	+	0	-	0	+	0	+	80,01	37,09
9	+	-	0	-	0	+	0	+	0	+	40,50	28,85
10	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92,42	43,92
11	+	0	+	+	0	0	+	0	+	+	92,50	40,64
12	+	0	+	-	0	0	-	0	+	+	77,72	31,48
13	+	0	-	+	0	0	-	0	+	+	69,00	29,32
14	+	0	-	-	0	0	+	0	+	+	19,00	11,86
15	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88,85	41,06

По данным опытов, проведённых согласно матрице планирования (см. таблицу 2), получены модели, характеризующие зависимости y_e и y_m от исследуемых факторов процесса. Эти модели представлены полиномами второй степени

$$y = b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_1x_1^2 + b_2x_2^2 + b_3x_3^2. \quad (3)$$

Обработка результатов эксперимента проводилась по стандартной методике [9]. Дисперсия воспроизводимости эксперимента определялась по результатам опытов в центре плана (см. таблицу 2, опыты номер 5, 10 и 15).

Расчёт модели для y_e . В результате вычислений были получены коэффициенты:

$$b_0 = 89,34; b_1 = 16,68; b_2 = 14,48; b_3 = 15,95; b_{12} = 1,78; b_{13} = -4,06; b_{23} = -8,81;$$

$$b_{11} = -11,08; b_{22} = -16,48; b_{33} = -8,31.$$

Проверка коэффициентов регрессии на статистическую значимость показала, что значимыми являются коэффициенты, чья величина больше или равна доверительному интервалу

$$\Delta b_0 = \pm 7,12; \Delta b_i = \pm 4,36; \Delta b_{ij} = \pm 6,16; \Delta b_{ii} = \pm 6,41.$$

Значимыми оказались коэффициенты:

$$b_0 = 89,34; b_1 = 16,68; b_2 = 14,48; b_3 = 15,95;$$

$$b_{23} = -8,81; b_{11} = -11,08; b_{22} = -16,48; b_{33} = -8,31$$

Данный план не является полностью ортогональным. Между собой коррелируют коэффициенты b_0 и b_{ii} . Коэффициенты b_{12} и b_{13} не коррелируют между собой, поэтому их можно не учитывать в полученной математической модели и не пересчитывать оставшиеся коэффициенты.

Таким образом, после исключения незначимых коэффициентов получено уравнение регрессии

$$y_e = 89,34 + 16,68x_1 + 14,48x_2 + 15,95x_3 - 8,81x_2x_3 - 11,08x_1^2 - 16,48x_2^2 - 8,31x_3^2. \quad (4)$$

Проверка гипотезы адекватности данной модели по критерию Фишера показала, что она адекватна. ($F_p < F_m$, $18,595 < 19,3$ при доверительной вероятности 95%).

Уравнение (4) неудобно для интерпретации полученных результатов, поэтому оно преобразовывалось по формулам перехода от кодированных значений x_1, x_2, x_3 к натуральным значениям факторов $Q, P_{\text{вак}}, t$. В результате таких преобразований была получена модель

$$\varphi_e = -267,898 + 2,085Q + 3346,229P_{\text{вак}} + 2,8t - 8,386P_{\text{вак}}t - 0,018Q^2 - 18306,66P_{\text{вак}}^2 - 0,007t^2. \quad (5)$$

Данная математическая модель при производительности, взятой на нулевом уровне ($Q = 40$ л/ч) имеет вид

$$\varphi_e = -131,39 + 1294,18P_{\text{вак}} + 1,79t - 13,848P_{\text{вак}}t - 8472,2P_{\text{вак}}^2 - 0,005t^2.$$

Геометрическая интерпретация полученной модели удаления воды из ОММ загрязненного ВТФ, в натуральных значениях при производительности, взятой на нулевом уровне ($Q = 40$ л/ч) приведена на рисунке 1.

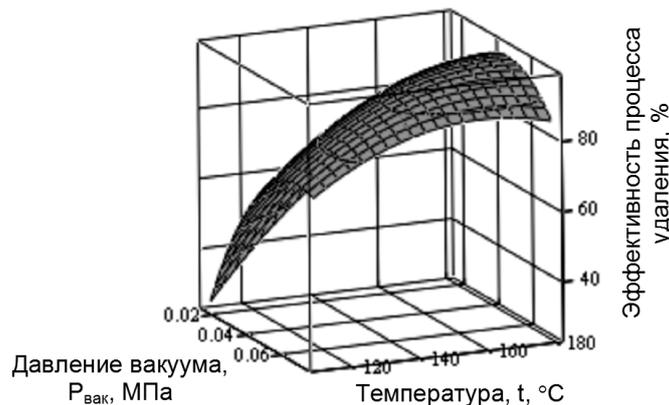


Рисунок 1 – Гиперплоскость в 3-х мерном пространстве при $k=3$ в натуральных значениях, характеризующая зависимость коэффициент эффективности удаления воды, при совместном с топливными фракциями, из ОММ от его температуры и давления вакуума в ЦВТИ

Расчёт модели для y_m . В результате вычислений были получены коэффициенты:

$$b_0 = 42; b_1 = 6,5; b_2 = 6,63; b_3 = 6,88; b_{12} = 5; b_{13} = -2,5; b_{23} = -2,25;$$

$$b_{11} = 2,63; b_{22} = -7,63; b_{33} = -6,63.$$

Проверка коэффициентов регрессии на статистическую значимость показала, что значимыми являются коэффициенты, чья величина больше или равна доверительному интервалу

$$\Delta b_0 = \pm 2,48; \Delta b_i = \pm 1,52; \Delta b_{ij} = \pm 2,15; \Delta b_{ii} = \pm 2,34.$$

Значимыми оказались все коэффициенты.

Таким образом, получено уравнение регрессии

$$y_m = 42 + 6,5x_1 + 6,63x_2 + 6,88x_3 + 5x_1x_2 - 2,5x_1x_3 - 2,25x_2x_3 + 2,63x_1^2 - 7,63x_2^2 - 6,63x_3^2. \quad (6)$$

Проверка гипотезы адекватности данной модели по критерию Фишера показала что она адекватна. ($F_p < F_m$, $6,08 < 19,16$ при доверительной вероятности 95%).

Уравнение (3) неудобно для интерпретации полученных результатов, поэтому оно преобразовывалось по формулам перехода от кодированных значений x_1, x_2, x_3 к натураль-

ным значениям факторов Q , $P_{\text{вак}}$, t . В результате таких преобразований была получена модель

$$\varphi_m = -149,52 - 0,38Q + 1027,38P_{\text{вак}} + 1,98t - 2,14P_{\text{вак}}t - 6,67P_{\text{вак}}Q - 0,003Qt + 0,004Q^2 - 8472,2P_{\text{вак}}^2 - 0,005t^2. \quad (7)$$

Данная математическая модель при производительности, взятой на нулевом уровне ($Q = 40$ л/ч) имеет вид

$$\varphi_m = -158,39 + 1294,18P_{\text{вак}} + 1,98t - 2,14P_{\text{вак}}t - 8472,2P_{\text{вак}}^2 - 0,005t^2.$$

Геометрическая интерпретация полученной модели в натуральных значениях при производительности, взятой на нулевом уровне ($Q = 40$ л/ч) приведена на рисунке 2.

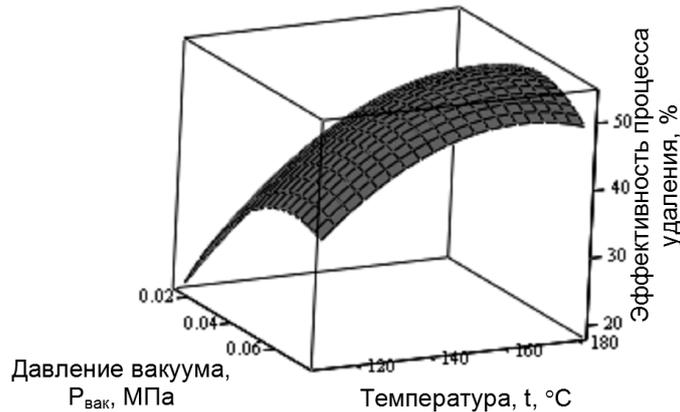


Рисунок 2 – Гиперплоскость в 3-х мерном пространстве при $k=3$ в натуральных значениях, характеризующая зависимость коэффициент эффективности удаления легких топливных фракций, при совместном с водой, из ОММ от его температуры и давления вакуума в ЦВТИ

Ресурсы программного комплекса Mathcad 15 позволяют произвести наложение поверхностей отклика процессов по совместному удалению ВТФ из ОММ (см. рисунок 1 и 2), полученных на основании уравнений экспериментально-математического моделирования указанных процессов, для визуализации взаимного воздействия ВТФ в гетерогенной смеси ОММ на процесс их совместного испарения в циклонном испарителе данных фракций в зависимости от температуры подаваемого ОММ в ЦВТИ и величины вакуума в нем, а также – процесса удаления из ЦВТИ, под воздействием его вакуумирования, обеспечивающего движение парогазовоздушной смеси ВТФ для дальнейшей конденсации в мерных тарированных колбах конденсаторосборников, отдельно для воды и топливных фракций.

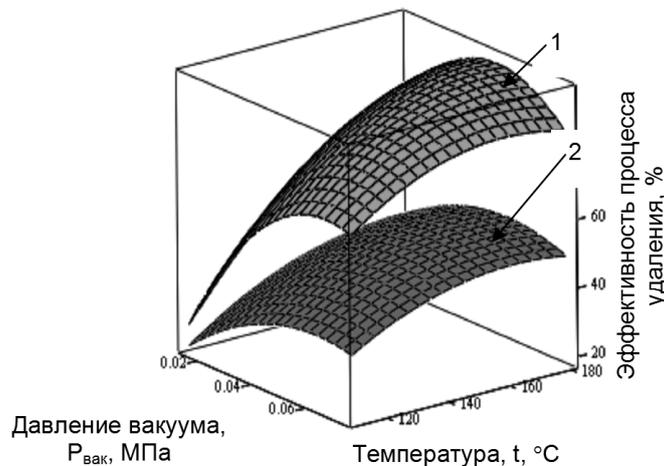


Рисунок 3 – Гиперплоскости №1 и №2 в 3-х мерном пространстве при $k=3$ в натуральных значениях, характеризующие зависимости коэффициентов эффективности совместного удаления ВТФ из гетерогенной смеси ОММ (моторное масло + ВТФ) от его температуры и давления вакуума в ЦВТИ: 1-визуализация поверхности значений коэффициента эффективности удаления воды из ОММ, совместно с легкими топливными фракциями; 2-визуализация поверхности значений коэффициента эффективности удаления легких топливных фракций из ОММ, совместно с водой

Полученные математические модели рекомендуется использовать для расчёта эффективности процесса совместного удаления воды и легких топливных фракций из ОММ при доверительной вероятности 0,95, а так же для обоснования изменения производительности установки регенерации и других параметров ведения процесса за счёт конструктивных мероприятий, которые предполагается осуществить при модернизации установки РУМС-1.

Таким образом, комплексная модель оценки коэффициентов эффективности совместного удаления ВТФ из ОММ представляет две математические модели на основании экспериментально-статистических данных. С помощью одной рассчитывается коэффициент эффективности удаления воды при наличии загрязнения ОММ еще и топливом, в то время, как вторая модель дает функцию коэффициента эффективности испарения легких топливных фракций при совместном удалении из ОММ загрязнителей, представляющих ВТФ.

Выводы:

– Определено что совместное удаление ВТФ из ОММ возможно в судовых условиях с применением модульной мобильной установки РУМС-1 для восстановления доброковочных, эксплуатационных показателей моторного масла.

– Установлено что, при экспериментально-статистическом моделировании процесса совместного удаления ВТФ, определяющими факторами являются температура ОММ и величина вакуума в ЦВТИ.

– Предложены уравнения для численного расчета параметров ведения процесса удаления ВТФ из ОММ при его одновременном загрязнении указанными фракциями.

– Для наиболее целостного исследования причин влияния процентного содержания фракций воды и топлива в ОММ на коэффициент эффективности работы ЦВТИ по их отгону требуются более глубокие исследования данных процессов с экспериментально-статистическим моделированием с использованием большего числа факторов характеризующих регенерацию ОММ в мобильной модульной установке РУМС-1 в условиях эксплуатации морского судна.

– Намечено проведение дальнейших исследований в области многопараметрической оптимизации процессов регенерации ОММ с использованием штатного судового оборудования систем главного и вспомогательных ДВС, а также систем утилизации отработавших энергоресурсов обеспечения работы СЭУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сурин, С.А. Отработанные масла: вторая жизнь / С.А. Сурин // -Мир нефтепродуктов. -2000. -№2. -С. 22-24.
- 2 Тарасов, В.В. Принципиальная схема установки по регенерации отработанного моторного масла в судовых условиях / В.В. Тарасов, П.В. Кулямов // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2015. -№2. -С. 175-179.
- 3 Тарасов, В.В. Научные ответы на вызовы современности: техника и технологии: монография / В.В. Тарасов, Г.П. Кича и др. -Одесса: Куприенко СВ, 2016. -177 с.
- 4 Тарасов, В.В. Экспериментальное исследование работы циклонного испарителя регенерационной установки по удалению топливных фракций из отработанного моторного масла/ В.В. Тарасов // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2015. -№3. -С. 84-90.
- 5 Тарасов, В.В. Определение параметров работы регенерационной установки по удалению воды из обводненного моторного масла в судовых условиях / В.В. Тарасов, П.В. Кулямов // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2015. -№3. -С. 91-97.
- 6 Тарасов, В.В. Формирование условий капельного и тонкопленочного испарения водо-топливных фракций из отработанного моторного масла при его регенерации / В.В. Тарасов // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2015. -№4. -С. 154-161.
- 7 Тарасов, В.В. Экспериментально-статистическая модель удаления воды из отработанного моторного масла / В.В. Тарасов, Г.П. Кича, Е.П. Патенкова // Вестник Морского государственного университета. Серия: Судостроение и судоремонт. - Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2017. -С. 65-79.
- 8 Тарасов, В.В. Проблемы утилизации и регенерации отработанных смазочных материалов на судах: пути их решения восстановлением моторных свойств и повторным использованием в судовых дизелях / В.В. Тарасов // Современные направления теоретических и прикладных исследований 2010: сб науч. тр. конф. -Т. 1. -Одесса: Транспорт, 2010. -С. 65-71.
- 9 Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. -М. : Машиностроение, 1981. -184 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *планирование эксперимента, экспериментально-статистическая модель, уравнение регрессии, циклонный испаритель, ресурсосберегающее маслоиспользование, моторное масло, отработанное масло, регенерированное восстановленное масло*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Тарасов Валерий Васильевич, профессор ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского» Патенкова Елена Петровна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского» Деревцов Евгений Михайлович, аспирант ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛО-СБЕРЕГАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА (КАПСУЛЫ) ДЛЯ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ БЕЗГАРАЖНОМ ХРАНЕНИИ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова»

Е.Е. Анисимов

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF HEAT-SAVING DEVICE (CAPSULES) FOR CARS WITH UNLESS STORAGE UNDER THE CONDITIONS OF THE EXTREME NORTH
North-Eastern federal university named M.K. Ammosov
E.E. Anisimov

The results of experimental (full-scale) studies of heat saving capsules providing operational reliability of cars in the process of their non-heft storage under extremely low temperatures are presented.

Keywords: car, heat-saving capsule, operational reliability, non-storing storage, temperature

Представлены результаты экспериментальных (натурных) исследований тепло сберегающих капсул, обеспечивающих эксплуатационную надежность легковых автомобилей процессе их безгаражного хранения в условиях экстремально низких температур.

Значительная часть территории страны приходится на регионы с холодным климатом и районы Крайнего Севера, отличающиеся суровыми климатическими зонами России, к которой относится более 67% территории страны, где народное хозяйство обслуживается в основном автомобильным транспортом.

Исследованиями влияния низких температур на интенсивность изнашивания автомобилей и их агрегатов, систем и, механизмов установлено, что интенсивность изнашивания большинства агрегатов автомобилей в условиях низких температур выше, чем в некотором диапазоне положительных температур [1].

На рисунке 1 приведен график зависимости общего числа отказов и неисправностей автомобилей от температуры окружающего воздуха, построенный по данным НИИАТ.

Из рисунка 1 видно, что при низких температурах число отказов резко возрастает.

Также приведена схема воздействия низких температур на показатели надежности автомобилей (рисунок 2).

Из представленной схемы воздействия низких температур, на автомобиль наиболее влияющие при безгаражном хранении – это затруднение пуска двигателя,

что приводит следствию увеличения частоты пусковых отказов. Ухудшение смазывающих свойств масел и смазок приводит к структурным изменениям и повреждениям, появлению дополнительных нагрузок. Вследствие чего увеличивается, параметры потока рабочих отказов и снижается долговечность элементов. Отвердевание и повышение хрупкости полимерных материалов приводит к замыканию в электрических цепях, в результате, чего ухудшается ремонтпригодность и снижению качественных показателей материалов который, приводит выше перечисленным последствиям.

По обеспечению надежности и приспособленности автомобилей к зимним условиям экс-

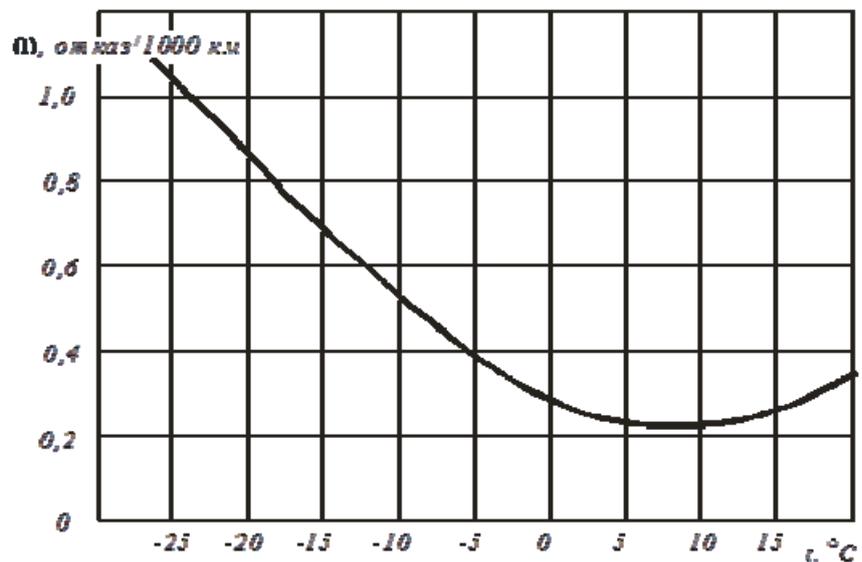


Рисунок 1 – Влияние температуры окружающего воздуха на изменение общего числа отказов и неисправностей автомобилей [1]

плуатации исследователями научной школы профессора Резника Л.Г., были предложены ряд решений. Например, Тюлькиным [2] разработан показатель приспособленности автомобилей к зимним условиям эксплуатации по темпу охлаждения двигателей. Он утверждает, что утепление двигателей позволяет повысить приспособленность на 20%. Но на наш взгляд, утепление только моторного отсека, то есть двигателя автомобиля для обеспечения эксплуатационной надежности при безгаражном хранении в условиях экстремально низких температур недостаточна.

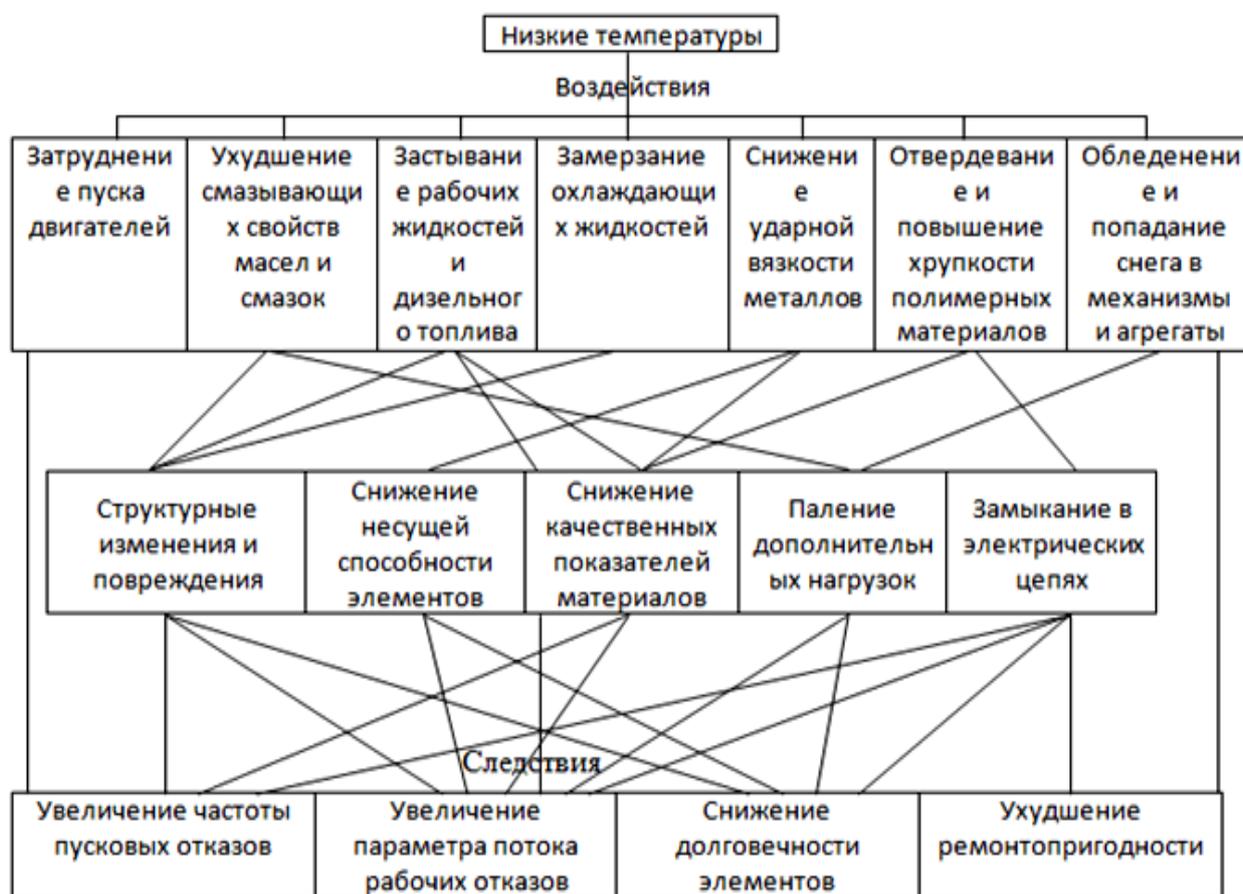


Рисунок 2 – Схема воздействия низких температур на автомобиль [1]

Поэтому, на наш взгляд, обеспечение эксплуатационной надежности автомобилей при безгаражном хранении в условиях Крайнего Севера без изменения конструкции может обеспечиваться путем сохранения (аккумуляции) теплоты не только двигателя, но и других агрегатов и узлов с помощью применения тепло-сберегающего устройства. (Капсулы)

В последнее время в Дальневосточном округе и в Сибири Российской Федерации все более широкое применение находят теплоизоляционные, так называемые «портативные гаражи», чехлы и т.п.

Однако, для определения их оптимальных параметров и конструктивных особенностей, обеспечивающих эксплуатационную надежность легковых автомобилей во время безгаражного хранения в условиях экстремально низких температур необходимо выявить закономерности передачи тепла на участке «Автомобиль-Воздушный Зазор-Теплоизоляционный Материал-Атмосфера (А→ВЗ→ТМ→А).

Впервые выявляемые закономерности в рассматриваемом участке в определенных условиях хранения автомобилей доказывают научную новизну исследования, а актуальность и практическую значимость – высокий темп автомобилизации населения и катастрофическая нехватка свободных площадей для стационарных теплых гаражей.

Но ввиду того, что на автомобиль во время его хранения действует множество факторов, в том числе неуправляемые, и чисто теоретически описать его очень сложно. Поэтому необходимо использовать экспериментальный метод для дальнейшего установления закономерности в исследуемом участке (далее А→ВЗ→ТМ→А).

На первом этапе экспериментальные исследования проведены с использованием одно-

го из средств «портативных гаражей», основанном на сохранении теплоты автомобиля трехслойными чехлами. Производителем является ООО «ХотуТент». Характеристики исследуемых устройств представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики капсул по классам

№	Класс	Материал	Толщина, мм	Теплопроводность Вт/(м·°С)	Огнестойкость, °С
1	A	Оксфорд наружный с напылением	0,3 мм	0,042	145
		Бамбуковая вата	5 мм	0,049	98
		Оксфорд наружный с напылением	0,3 мм	0,042	145
2	A+	Оксфорд внутренний без напыления	0,25 мм	0,042	105
		Бамбуковая вата	7 мм	0,049	98
		Шелк внутренний	0,2 мм	0,038-0,05	50
3	A++	Оксфорд наружный с напылением	0,3 мм	0,042	145
		Бамбуковая вата	12 мм	0,049	98
		Оксфорд внутренний с напылением	0,3 мм	0,042	145
4	B	Оксфорд с напылением наружный	0,3 мм	0,042	145
		Синтепон	7 мм	0,54	152
		Оксфорд без напыления внутренний	0,2 мм	0,042	105

Исследования проводились на автомобиле тойота-спринтер-кариб японского производства. Каждый опыт включал следующее: автомобиль после работы на линии устанавливался на открытую стоянку и укрывался теплоизоляционным чехлом в течение 10 ч. В определенных контрольных точках устанавливались датчики температуры фирмы «Термохрон» (моторный отсек, передняя верхняя, передняя нижняя, задняя верхняя, задняя нижняя и салон автомобиля). Значения параметра температуры замерялись с дискретностью 0,3 с. При проведении исследований средняя температура окружающей среды составляла -44 °С. Исследования были проведены для каждого отдельного класса чехла. После получения данных с помощью датчиков для каждого опыта был проведен анализ изменения температуры автомобиля под теплосберегающей капсулой от времени остывания в зависимости от параметров капсулы и получены их регрессионные модели и представлены в рисунках 3-10.

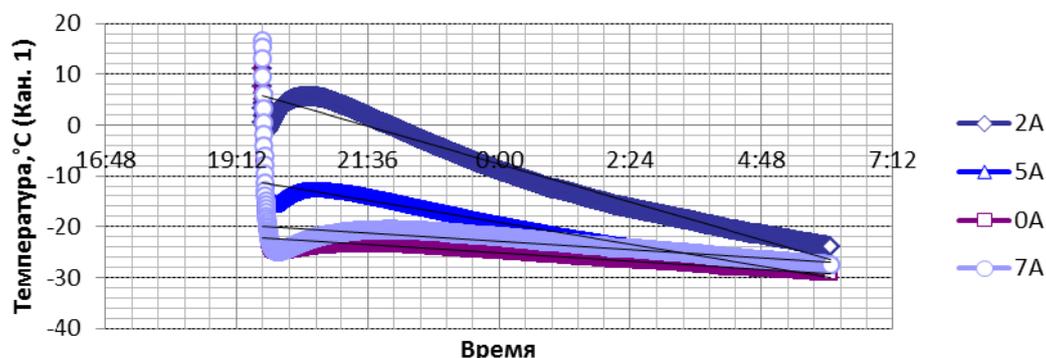


Рисунок 3 – График изменения температур в контрольных точках автомобиля под тепло сберегающей капсулой класса «А» от времени остывания

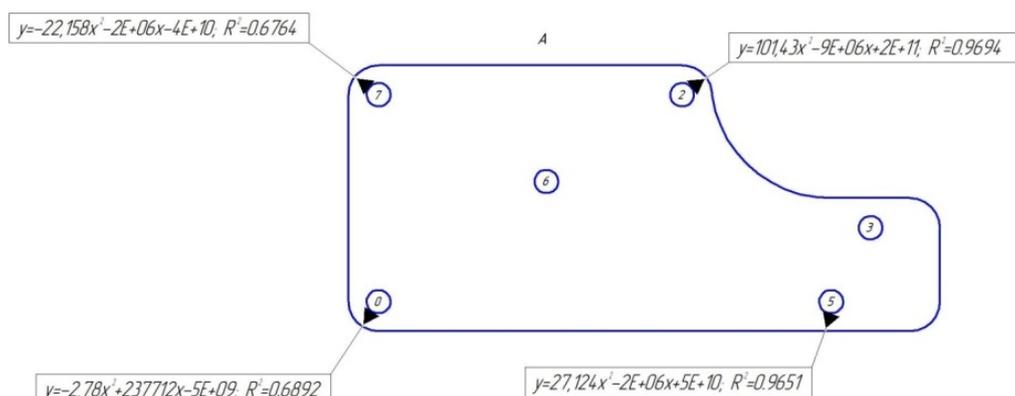


Рисунок 4 – Регрессионные модели результатов по контрольным точкам. Класс «А»

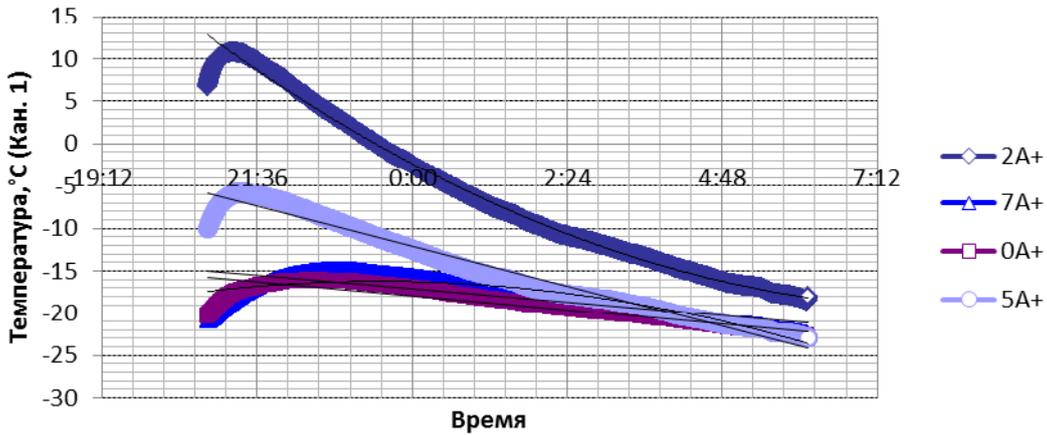


Рисунок 5 – График изменения температур в контрольных точках автомобиля под тепло сберегающей капсулой класса «А+» от времени остывания

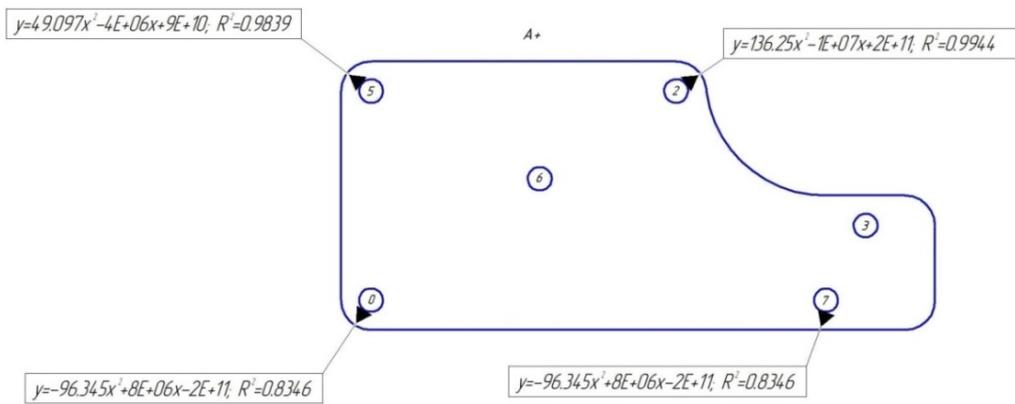


Рисунок 6 – Регрессионные модели результатов по контрольным точкам. Класс «А+»

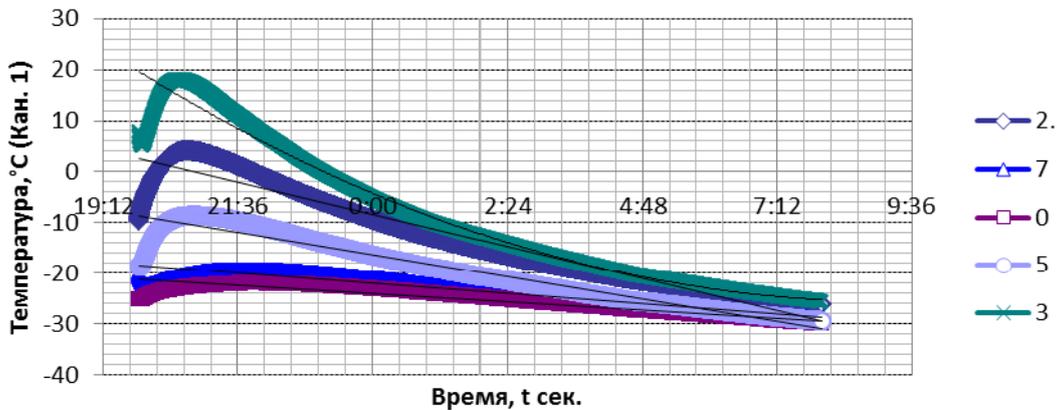


Рисунок 7 – График изменения температур в контрольных точках автомобиля под тепло сберегающей капсулой класса «В» от времени остывания

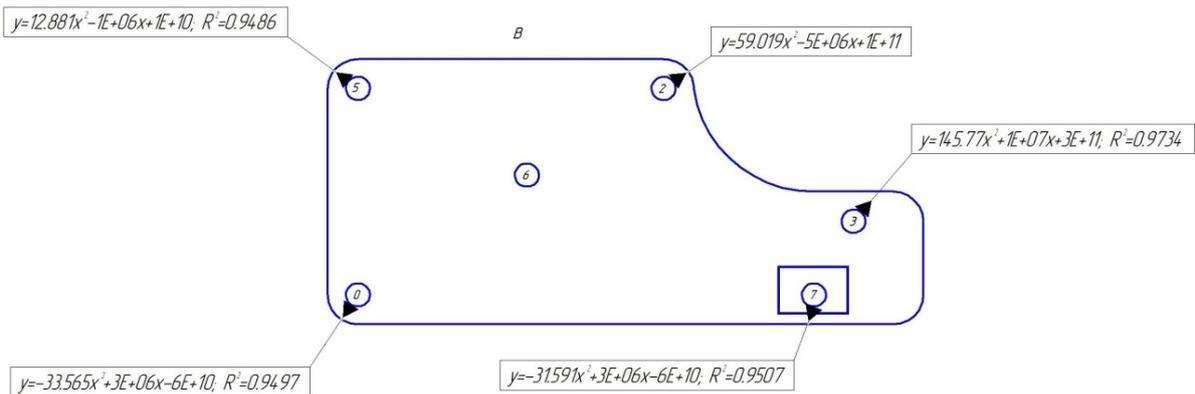


Рисунок 8 – Регрессионные модели результатов по контрольным точкам. Класс «В»

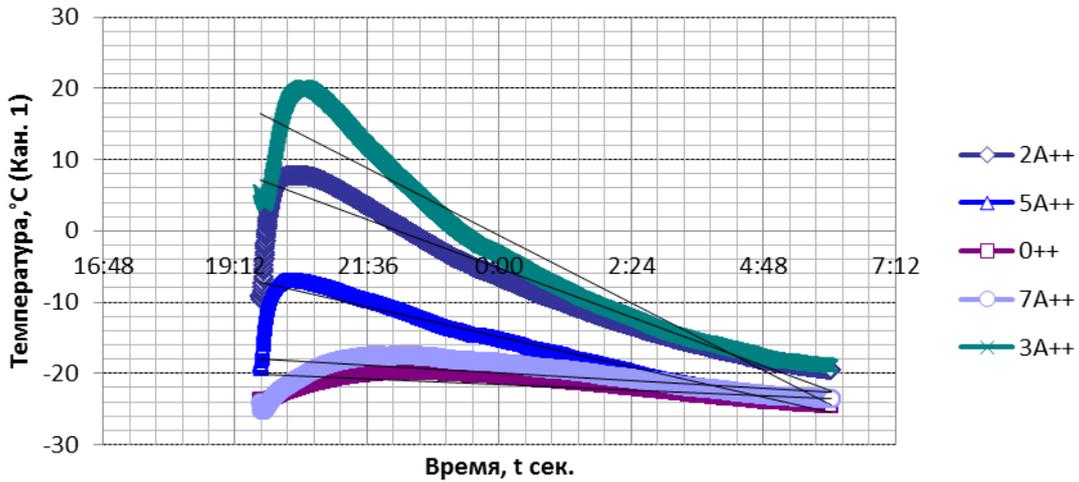


Рисунок 9 – График изменения температур в контрольных точках автомобиля под тепло сберегающей капсулой класса «А++» от времени остывания

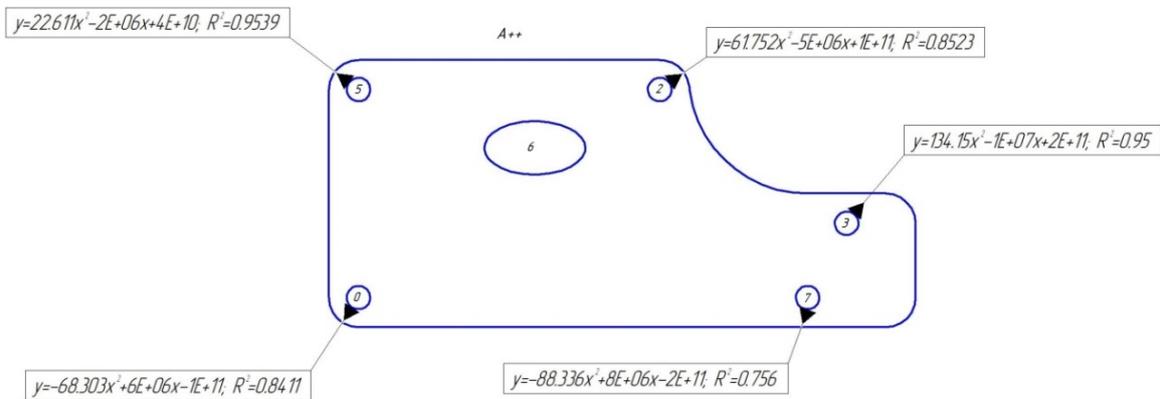


Рисунок 10 – Регрессионные модели результатов по контрольным точкам. Класс «А++»

Класс «А» – время процесса остывания до критических значений составило в верхней передней контрольной точке (2А) – 7 ч, в нижней передней контрольной точке – 3,5 ч, а задние верхние и задние нижние контрольные точки находились в критических температурных значениях. Верхний предел температуры составил 5 °С.

Класс «А+» – в верхней передней контрольной точке (2А) время процесса остывания до критических значений составило 9 ч, в нижней передней контрольной точке – 7,5 ч. В задней верхней и задней нижней контрольных точках также составило 7,5 ч. Верхний предел температуры – 11 °С.

Класс «В» – в контрольной точке «2А» 8 ч, при этом максимальная температура составила 7 °С. В нижней передней контрольной точке – 5 ч. В верхней контрольной точке задней части температура максимально поднималась до -17 °С, а затем в течении 2 ч опустилась до критических значений. Задняя нижняя на протяжении всего процесса находилась в критической отметке. Верхний предел температуры составило всего 4 °С.

Класс «А++» – в контрольной точке верхней передней части автомобиля время процесса остывания до критических значений составило – 8,5 ч. В других контрольных точках температура не поднималась до положительных значений и за 6 ч уменьшилось до критических значений. При этом верхний предел температуры – 7,4 °С.

Результаты исследования показывают, что у рассматриваемых чехлах процесс проходит четыре стадии теплообмена: процесс интенсивного остывания, процесс уравнивания, процесс равновесного состояния и процесс умеренного остывания. При этом время остывания температуры до критических значений (-20 °С) по контрольным точкам разные. Также интенсивность остывания температуры автомобиля под тепло сберегающей капсулой зависит от теплоизоляционных и отражательных характеристик материалов и существенно отличается в зависимости от их конструкций и параметров, что и показывают полученные графики.

Таким образом, по результатам проведенных экспериментальных исследований наиболее эффективной и обеспечивающей эксплуатационную надежность легковых автомобилей

в процессе безгаражного хранения в условиях Крайнего Севера стала тепло сберегающая капсула класса «А+».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов / Под ред. Е.С. Кузнецова. -3-е изд., перераб и доп. -М.: Транспорт, 1991. -413 с.
2 Тюлькин, В.А. Оценка приспособленности автомобилей к зимним условиям эксплуатации по темпу охлаждения двигателей: Дис.... канд. техн. наук: 05.22.10/ Тюлькин Вячеслав Анатольевич; Тюмен. нефтегаз. гос. унив. -Тюмень, 2000. -172 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: легковой автомобиль, тепло-сберегающая капсула, эксплуатационная надежность, безгаражное хранение, температура
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Анисимов Евсей Евсеевич, старший преподаватель ФГАОУ ВПО «СВФУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 677000, г.Якутск, ул.Белинского, 58, ФГАОУ ВПО «СВФУ»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВО- И МАСЛОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет»
ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Г.Б. Горелик, Е.И. Кончаков, С.В. Викулов

IMPROVING EFFECTIVENESS FUEL- AND OIL USE IN SHIP POWER PLANTS

Pacific ocean state university
Far Eastern federal university
Siberian state university of water transport
G.B. Gorelik, E.I. Konchakov, S.V. Vikulov

It is brought the results of fuel and oil use increasing at ship plants by multifunction addition agents, friction modifiers, commodity oil products unification, fuel-water emulsion use long-term working lubricants and oil and fuel cleaning system improving. It is shown the influences of specified measures on ship diesel oil and fuel, recourses and ecological indices.

Keywords: motor fuels and oils, fuel and oil use, additives to oils, water-fuel emulsion, cleaning of fuels and oils, resource-saving operation of diesel engines

Приведены результаты повышения эффективности топливо- и маслоиспользования на судах путем подбора многофункциональных присадок, включая модификаторы трения, унификации товарных нефтепродуктов, применения водо-топливных эмульсий, долгорботающих масел и совершенствования систем очистки горюче-смазочных материалов. Показано влияние указанных мероприятий на экономичность (по расходу топлива и масла), ресурсные и экологические показатели судовых дизелей.

В условиях переходного периода от административно-командного управления работой флота к его функционированию на основе рыночных отношений проблема выбора и рационального использования топлив и смазочных материалов приобрела важное значение не только в части определяющего фактора эксплуатационных расходов, но и весьма важна для обеспечения экономичной и экологически чистой эксплуатации судов транспортного и рыбодобывающего флотов.

Развитие двигателестроения выдвигает новые требования к горюче-смазочным материалам (ГСМ) и системам их очистки. Форсировка дизелей по наддуву и частоте вращения, использование в подшипниках тонкостенных вкладышей, снижение маслообмена за счет уменьшения угара масла с одновременным увеличением срока его службы, применение низкосортных топлив и масел с высокими моторными свойствами, законодательное ограничение опасных выбросов в атмосферу – вот те условия, в которых необходимо рассматривать функционирование комплекса «дизель-эксплуатация-топливо-масло-очистка» (ДЭТМО) на судах для достижения высокого технико-экономического и экологического эффекта [1].

На рынке появилось много товарных нефтепродуктов сомнительного качества, вырабатываемых малыми предприятиями под маркой известных фирм без должного контроля их эксплуатационных свойств. Бункеровочными базами путем смешивания приготавливаются топлива различного назначения без учета происхождения (месторождения) соединяемых продуктов, их молекулярного состава, что приводит к образованию в смесях агрегативных структур, вызывающих в процессе применения отказы в системе топливоподготовки и энергетической установке.

Состояние флота при отсутствии пополнения новостроем характеризуется повышением срока эксплуатации судов, что сопровождается увеличением изношенности корпусов, дизелей и обслуживающих их систем и вспомогательных механизмов. Использование ГСМ невысокого качества наносит большой вред судовой энергетической установке (СЭУ) и ее элементам. Все вышеперечисленное приводит к необходимости существенного пересмотра выбора и рационального использования на судах топлив и смазочных материалов, усиления контроля их качества, разработки и внедрения новых технологий применения. Важную роль при этом играет совершенствование систем топливоподготовки и маслоочистки [2, 3].

Повышение эффективности топливо- и маслоиспользования на судах осуществлялось на основе:

- управления качеством применяемых нефтепродуктов;
- использования судовых методов экспресс-контроля ГСМ;
- унификации используемых топлив и моторных масел (ММ);
- легирования товарных нефтепродуктов новыми присадками для улучшения их эксплуатационных свойств;
- сокращения расхода топлив за счет применения водо-топливных эмульсий и модификаторов горения;
- снижения угара и увеличения срока службы ММ конструктивными и эксплуатационными мероприятиями;
- интенсификации очистки масла комбинированием фильтрования и центрифугирования;
- выбора топлив и смазочных материалов, соответствующих друг другу, а также конструкции, форсировке и режимам эксплуатации дизеля.

Сокращение ассортимента применяемых на судах нефтепродуктов вылилось в разработку судовых топлив дистиллятного ТМС (ТУ38.101567-87) и остаточных СВЛ, СВС, СВТ (ТУ38.1011314-90) типов [1]. Предлагаемая унификация горючего упрощает бункеровку судна, позволяет грамотно осуществлять его подготовку, эффективно сжигать. Для этой цели разработаны эксплуатационные показатели качества топлив, определена их фильтруемость, предложены варианты смешивания. По вновь представляемым параметрам, в отличие от стандартных физико-химических показателей, не дающих представления об эксплуатационных свойствах ГСМ, можно прогнозировать качество рабочего процесса дизеля, оценить экологические последствия при сжигании различных топлив.

Разработаны типовые схемы топливоподготовки, обеспечивающие качественную очистку горючего и приготовление водо-топливной эмульсии в случае ее использования. Определены оптимальные режимы подогрева топлива при его сепарировании, обосновано последовательно-параллельное подключение очистителей, использование гомогенизаторов, саморегенерирующихся фильтров и сепараторов. Доказано, что продукты крекинг-процесса лучше всего обрабатывать последовательно подключением к фильтру сепаратора, настроенного в режиме пурификатора на производительность 40-50% от паспортной. Если водоотделение из-за высокого содержания смол и асфальтенов затруднено, желательно применять специальные присадки для эффективного разрушения эмульсий. Используя гомогенизатор, можно обедненную (водой) водо-топливную эмульсию сжигать в ДВС.

Созданные системы топливоподготовки ТСФ-6 и ТСФ-10 позволяют сократить в 2-6 раз износ топливной аппаратуры, так как эффективно удаляют из топлива алюмосиликаты. При этом потери горючей части топлива могут быть снижены с 4,5 до 0,5%. Сжигание водо-топливной эмульсии с гранулами воды диаметром 10-20 мкм при ее концентрации 5-15% сокращает расход топлива на 5-12 г/(кВт·ч). При этом выброс сажи, СО и NO_x снижается в 1,6-3 раза. Наибольший эффект по сокращению содержания вредных продуктов в выхлопных газах проявляется в форсированных дизелях с высоким наддувом.

Метод гомогенизации обводненных топлив особенно продуктивен на изношенных двигателях. Альтернативы на судах ему практически нет. Применение специальных присадок – модификаторов горения и нейтрализаторов менее эффективно. Они могут сжигаться, в основном, в быстроходных дизелях. Использование водо-топливных эмульсий и присадок позволила добиться у 85% парка действующих судовых дизелей допустимых нормами ИМО вредных выбросов.

Совершенствование смазочных систем предусматривало подбор присадок к ММ и их унификацию. Были составлены композиции присадок различного назначения, которые обеспечили применяемым маслам достаточно высокий уровень моторных свойств. Унификация

состояла в разработке на базе присадок СБ-3, ПМСЯ, МАСК, ДФ-11, ВНИИНП-354 и ПМС-200А масел многоцелевого назначения, которые могут использоваться как для циркуляционной, так и цилиндрической смазки [1].

Особенность предложенных композиций – синергизм, высокая водостойкость и слабая вымываемость присадок при обводнении легированных ими масел. Разрушаемость водомасляной эмульсии этих ММ довольно высока. Вымываемость присадок и стойкость водомасляной эмульсии рассматриваемых нефтепродуктов нормируется. Падение щелочности и зольности при сепарировании свежих обводненных ММ предложенного класса не должно превышать 15%.

Вышеперечисленные присадки обладают многофункциональными свойствами с ярко выраженным антиокислительным (ВНИИНП-354), моюще-диспергирующим (СБ-3, ПМСЯ), нейтрализующим (МАСК) и противозадирным (ДФ-11) действием. На базе этих присадок созданы судовые унифицированные масла широкого диапазона вязкости, которые могут применяться в дизелях разной форсировки и конструктивного исполнения.

Использованием на судах доказана высокая эффективность следующих марок масел: М10(14,16)Г2ЦС, М10(14)Д(цл 20,30), М14(16)Д(р) (ГОСТ 12337-84). Индекс «Р» указывает на использование масел в режиме долгорботающих, то есть без смены. Эксплуатационные характеристики их за счет долива свежего масла при компенсации угара стабилизируются на уровне, обеспечивающем эффективную защиту дизеля от нагаро- и лакообразования, коррозии и износа.

В качестве цилиндрических хорошо проявили себя масла М16Е(30,60), М20Е(70). Они имеют довольно высокий запас щелочности, позволяющий нейтрализовать коррозионноопасные продукты сгорания топлива с содержанием серы до 4,5%. При использовании этих ММ важно обеспечить такое сочетание топлив и масел, при котором полностью бы нейтрализовались органические и минеральные кислоты и не подвергались озолению несработавшие присадки, находящиеся в избытке из-за нарушения стехиометрических соотношений между ними и вредными продуктами сгорания топлива.

Управление звеном «масло» осуществлялось по результатам имитационного моделирования системы ДЭТМО и моторных (эксплуатационных) испытаний ГСМ при разных составах рассматриваемого комплекса. Разработана методика управления этим звеном путем наиболее рационального баланса термоокислительных, моюще-диспергирующих показателей масел, усиления его отдельных свойств, исходя из условий применения. Например, при длительных низкотемпературных режимах работы дизеля в масло вводилась сукцинимидная присадка С-5А, улучшающая его детергентно-стабилизирующие свойства, что снижает загрязнение картера шламом и увеличивает срок службы масляных фильтрующих элементов.

В форсированных дизелях для устранения прогара выпускных клапанов вводилась присадка с высокой, более 1100 °С, температурой плавления их золы. Зола с низкой температурой плавления образует на фаске клапанов стекловидную пленку, которая при разрушении является причиной развития прогара в местах неплотного прилегания клапана к седлу.

Лабораторные и эксплуатационные испытания модификаторов трения (МТ) показали, что топливосберегающие присадки МоS₂, ПАФ-4, Фрикол, Алкон, Ресурс, ГМТ хорошо проявили себя в условиях судового быстроходного дизеля. Было доказано, что они совместимы с приведенными в этой статье многофункциональными присадками, обладают эффектом последствия, то есть их действие по снижению трения продолжается в течение 200-300 ч после смены масла, содержащего противозадирный компонент.

При концентрациях 2-3% МТ способны сократить расход топлива на 3-8 г/(кВт ч), облегчают запуск двигателя, ускоряют в 2-5 раз приработку дизеля [1]. Их применение снижает скорость изнашивания деталей основных трибологических сопряжений в 1,4-3,2 раза. Особенно ярко выражен противоизносный эффект при добавке в масло МТ по поршневым кольцам и цилиндрическим втулкам (в верхнем поясе).

Присутствие МТ в узлах, где возможно полусухое трение способно снизить на порядок коэффициент трения. Поэтому эффективность МТ велика в дизелях, работающих в условиях частых пусков, «рваных» режимов нагружения. Достоинством МТ является способность ускорять приработку сопряжений, увеличивать предельно допустимые нагрузки в трибологическом узле и этим исключать задиры в парах трения. Поэтому рекомендовано добавлять МТ не только в рабочие, но и в обкаточные масла.

Для эффективного маслоиспользования важно обеспечить оптимальную дозировку ММ

в цилиндр дизеля, которая рассчитывается по специальным номограммам с учетом его свойств, качества применяемого топлива, форсировки и режимов нагружения дизеля по частоте вращения и среднему эффективному давлению. Сокращение угара масла в эксплуатации возможно увеличением его вязкости и установкой маслосъемных колец с высоким удельным давлением на зеркало цилиндра, достигаемым изменением конструкции режущей кромки или применением экспандеров (расширителей). При этом важно не оставить верхнюю зону цилиндровой втулки без смазки и исключить попадание масла в камеру сгорания.

Эксперименты показали, что для быстроходных и среднеоборотных дизелей оптимальный угар масла составляет 1,5-4 г/(кВт·ч) [4]. Более низкое его значение может вызвать задиры в цилиндро-поршневой группе. Угар выше 4 г/(кВт·ч) не только снижает экономичность дизеля по расходу ММ, но и не улучшает показатели его старения из-за повышенного маслообмена. По нашему мнению это обусловлено попаданием в камеру сгорания излишек масла, что увеличивает константы окисления ММ, срабатывания присадок, вызывает потерю им нейтрализующих свойств в целом интенсифицирует основные направления старения.

Комплексное повышение эффективности смазочных систем потребовало не только осуществить подбор для действующего парка судовых дизелей наиболее эффективных ММ с присадками, но и произвести унификацию их с целью сокращения товарного ассортимента, применяемого на судах. Повышение ресурсных показателей двигателей стало возможным введением на большинство двигателей полнопоточной тонкой очистки ММ. Моделирование звена «очистка» в комплексе ДЭТМО показало, что при высоких абразивности и скорости загрязнения масла нерастворимыми продуктами, что характерно для форсированных ДВС при работе на тяжелых топливах и высокосольных маслах групп Г и Д, необходимо дополнительно центрифугирования ММ по байпасной схеме. В этом случае обеспечивается не только надежная защита пар трения от крупных частиц механических примесей, способных вызвать задиры и проворачивание вкладышей, но и глубокая очистка масла от тонкодисперсных зольных продуктов его старения, интенсифицирующих изнашивание и срабатывание присадок.

Разработанные модели комплекса ДЭТМО позволили определить состав и параметры маслоочистительных комплексов, обеспечивающих надежную и долговечную эксплуатацию многих типов дизелей. Комплектация систем очистки масла высокоэффективными фильтрами и центрифугами осуществлялась на базе новых разработок кафедры «Судовые ДВС» Морского государственного университета им. адм. Г.И. Невельского. Подбор очистителей велся с учетом форсировки, параметров системы смазки, качества применяемых топлив и масел [5, 6].

Для дизелей без наддува и со средним наддувом ($p_{me} = 0,7-1,2$ МПа) мощностью до 3000 кВт в качестве основного маслоочистителя рекомендованы полнопоточные фильтры ФМП-1,2... ФМП-10 с пропускной способностью от 5 до 60 м³/ч, обеспечивающие номинальную тонкость отсева 25-45 мкм при сроке службы фильтрующих элементов не менее 500 ч [5]. Дополнительное частичнопоточное центрифугирование ММ предлагается осуществлять, если удельная скорость загрязнения масла превышает 0,05 г/(кВт·ч), что возможно при форсировке дизеля по среднему эффективному давлению 1,2-1,8 МПа и при работе на флотском, дизельном или топочном мазутах [1].

В дизелях средней и повышенной оборотности мощностью 2-6 тыс. кВт и с прокачкой масла через внутреннюю смазочную систему 30-180 м³/ч рекомендовано использовать на полном потоке компактные саморегенерирующие фильтры ФМС-30... ФМС-180 с тонкостью отсева 30-50 мкм [1]. Глубокую очистку масла можно осуществлять центрифугами, а при вместимости смазочной системы более 0,5 м³ – сепараторами. Маслоочистители типа ФМС функционируют в режиме непрерывной регенерации фильтрующих элементов обратным потоком очищаемого масла. Эти фильтры не требуют автоматических систем управления, конструктивно просты и надежны в работе [7].

Тяжелые условия работы ММ в дизеле при высокой его прокачке через смазочную систему и низкой моюще-диспергирующей способности могут удовлетворить очистители СОФ-120... СОФ-450 с периодическим режимом регенерации, имеющие при тонкости отсева 30-50 мкм пропускную способность 120-450 м³/ч. Они предпочтительны в среднеоборотных ДВС с интенсивным и глубоким старением масла или в циркуляционных системах малооборотных крейцкопфных дизелей большой мощности.

Для байпасного непрерывного сепарирования ММ в этих типах двигателей рекомендо-

вано использовать самоочищающиеся сепараторы. Выбор оптимального режима сепарирования, который зависит от моюще-диспергирующих свойств масел, желательнее осуществлять самонастраивающимся поисковым регулятором. В качестве входного сигнала регулятора может использоваться частота включения СОФ на регенерацию, которая осуществляется периодически. Частота регенераций зависит от качества и глубины старения применяемого масла и хорошо коррелирует с оптимальной пропускной способностью сепаратора.

Ресурс работы саморегенерируемых фильтров между химическими чистками фильтрующих элементов составляет 3-6 тыс. ч при трудоемкости обслуживания 0,5-4 чел.ч/1000 ч. Разработанные типоразмерные ряды унифицированных конструкций маслоочистителей полностью удовлетворяют потребности действующего парка дизелей на судах.

Результаты испытаний новых маслоочистителей показали, что полнопоточная и комбинированная тонкая очистка стабилизирует моюще-диспергирующие свойства масла на высоком уровне, длительно сохраняет его солюбилизирующую способность, ускоряет перевод промежуточных продуктов окисления в карбены и карбоиды, которые легко отфильтровываются и отфуговываются. Наиболее результативна коррекция старения ММ присадками и очисткой в двигателях с малым угаром и высокой форсировкой при использовании низкосортных топлив.

Комплексное повышение эффективности топливо- и маслоиспользования на судах позволило:

- сжигать в дизелях низкосортные топлива при сохранении выброса NO_x в допустимых пределах;
- повысить экономичность судовых дизелей по расходу топлива на 3-12 г/(кВт·ч);
- увеличить срок службы масла в 1,2-3 раза;
- подбором присадок и очисткой масла полностью нейтрализовать отрицательные последствия сжигания тяжелых топлив и обеспечить ресурсосохраняющую эксплуатацию ДВС;
- увеличить ресурс двигателей между моточистками и до капитального ремонта не менее чем на 20%;
- уменьшить затраты на сменно-запасные части и трудоемкость обслуживания дизелей на 10-30%.

Дальнейшее повышение эффективности топливо- и маслоиспользования химмотологическими методами [1, 8] предусматривает перевод судовых дизелей на газообразное горючее, проверка в судовых условиях работоспособности синтетических топлив, получаемых ожижением угля. В плане обеспечения ресурсосберегающей эксплуатации дизелей предполагается использование присадок к ММ, реализующих эффект «безизносности» при трении и избирательного переноса продуктов износа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кича, Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надёжкин. - Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. -372 с.
- 2 Кича, Г.П. Агрегаты систем маслоочистки судовых среднеоборотных дизелей: анализ конструкций, результаты испытаний и перспективы развития // Современные состояния и перспективы развития СЭУ. -М.: ВО «Мортехреклама», 1983. -С. 3-12.
- 3 Кича, Г.П. Влияние угара моторного масла на его старение и состояние дизеля / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надёжкин // Актуальные проблемы развития и эксплуатации поршневых двигателей в транспортном комплексе АТР: докл. междунар. науч.-техн. конф. «Двигатели 2005», 19-23 сент. 2005 г. –Хабаровск: Тихоокеан. гос. унив., 2005. -С. 308-314.
- 4 Кича, Г.П. Результаты испытаний полнопоточных фильтров тонкой очистки масла в судовых вспомогательных дизелях / Г.П. Кича // -Двигателестроение. -1980. -№9. -С. 47-50.
- 5 Кича, Г.П. Повышение эффективности тонкой очистки моторного масла в судовых тронковых дизелях комбинированным фильтрованием / Г.П. Кича, Н.Н. Таращан, А.В. Надёжкин. -Владивосток: Изд. Мор. гос. ун-та, 2015. -175 с.
- 6 Кича, Г.П. Повышение ресурсных показателей судовых дизелей совершенствованием системы очистки моторного масла / Г.П. Кича, Н.Н. Таращан, А.В. Голенищев / Вестник морского государственного университета. -Вып. 25. -Владивосток: Мор. гос. унив., 2008. -С. 127-137.
- 7 Кича, Г.П. Комбинированный маслоочистительный комплекс для судовых форсированных дизелей / Г.П. Кича // -Судостроение. -1985. -№4. -С. 25-28.
- 8 Fodor, J. Improvement in engine oil filtration // Filtration and Separation. -1982. -Vol. 19, -№1. -P. 64-65.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *моторные топлива и масла, использование топлива и масла, присадки к маслам, водо-топливная эмульсия, очистка топлива и масел, ресурсосберегающая эксплуатация дизельных двигателей*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Горелик Геннадий Бенционович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «ТОГУ»
Кончаков Евгений Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГАОУ ВО «ДВФУ»
Виколов Станислав Викторович, докт. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *680035, г.Хабаровск, ул.Тихоокеанская, 136, ФГБОУ ВО «ТОГУ»
690950, г.Владивосток, ул.Суханова, 8, ФГАОУ ВО «ДВФУ»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ОЧИСТКИ МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ

ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет»
ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

П.П. Кича, Л.А. Семенюк, Н.Н. Таращан

EXPEDIENCY OF APPLICATION OF THE COMBINED CLEANING OF MOTOR OIL IS IN SHIP DIESELS

Far Eastern state technical fisheries university
Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
P.P. Kicha, L.A. Semenyuk, N.N. Tarashcan

Some ways of the diesel friction protection from the abrasive wear are suggested in this paper. The article deals with the problem of the motor oil purification significance while operating maintaining the internal combustion engines. The advantages of the motor oil purification carried out by means of the combined applying the full-flow oil filter and by pass oil centrifuge.

Keywords: economy resource of oils using, motor oil, combined filtering, engine wear

Показаны пути повышения надежности защиты пар трения дизеля от абразивного изнашивания интенсификацией очистки моторного масла. Приведены достоинства и преимущества маслоочистки сочетанием полнопоточного фильтра и бойпасноподключенной центрифуги, а также комбинированного фильтрования масла. Сравняется эффективность полнопоточной очистки масла в судовых дизелях с дополнительным его тонким фильтрованием или центрифугированием.

Роль очистки масла в ресурсосберегающей эксплуатации судовых дизелей довольно высока. Неучет этого фактора может привести к большим экономическим потерям. При проектировании систем очистки масла конструктор обязан знать и учитывать перспективы развития очистительной техники с тем, чтобы выбрать такую схему и типы маслоочистителей, найти такие компоновочные и конструкторские решения, которые обеспечили бы высокий уровень систем тонкой очистки масла (СТОМ) в дизелях разной форсировки [1].

Повышение эффективности тонкой очистки моторного масла (ММ) в судовых дизелях продиктовано возрастанием химмотологической нагрузки на их смазочные системы (СС), обусловлено качеством и спецификой применяемых горюче-смазочных материалов (ГСМ). Поэтому в условиях эксплуатации ДВС, увеличивающих скорость поступления нерастворимых продуктов (НРП) в систему смазки (СС), их дисперсность и абразивность широкое распространение получили комбинированных систем тонкой очистки масла (КСТОМ) на основе полнопоточного фильтрования и частичнопоточного центрифугирования с использованием центробежных очистителей (ЦО) с гидравлическим реактивным приводом [1, 2].

Степень разработанности КСТОМ на основе фильтрования невелика. Рациональность и необходимость очистки ММ комбинированным фильтрованием в некоторых ДВС доказана в работах [2, 3]. Однако это направление не получило развития из-за широкомасштабного внедрения фильтров тонкой очистки масла, полнопоточных (ФТОМП) с заменой в большинстве случаев морально устаревших щелевых частичнопоточных фильтров с элементами типа ДАСФО, ЭФКП центрифугами [2, 4].

В последние годы полнопоточная тонкая очистка ММ в быстроходных и среднеоборотных дизелях малой и средней мощности доминирует [5]. При модернизации СС она вытеснила фильтры грубой очистки (ФГО) в дизелях выпуска 70-80 гг. прошлого столетия. Однако в форсированных ДВС последнего поколения, особенно эксплуатирующихся на низкосортных топливах, эффективность ФТОМП не достаточна для обеспечения заданных техническими условиями ресурсных показателей двигателей [5]. Это обусловлено повышением интенсивности старения ММ в этих дизелях из-за их форсировки и более высокой скорости загрязнения масла НРП.

Комбинированная очистка ММ на судах получает в последние годы все большее распространение [3, 4]. Это обусловлено стремлением полностью удовлетворить потребность судового дизеля в надежной защите его пар трения от опасных, достаточно крупных частиц механических примесей с размерами, превышающими 15 мкм, и обеспечить глубокую очистку смазочного масла от мелкодисперсных НРП, катализирующих его окисление.

Как уже отмечалось, эти две функции совокупно выполнить одним агрегатом маслоочистки довольно сложно. Поэтому в условиях повышенного загрязнения ММ нерастворимыми

продуктами из-за применения в дизелях низкосортных топлив, особенно при высокой форсировке ДВС и низком расходе масла на угар, применяется комбинированная его очистка [1, 2]. Распространенность и типы КСТОМ зависят от мощности и назначения двигателя. Если при применении ФГО не считать комбинированной очисткой периодическое подключение сепаратора для разовой обработки масла, то доля систем смазки, оборудованных, например ФТОМП и центрифугой, может достигать в дизелях мощностью 2000-3000 кВт до 20% [4].

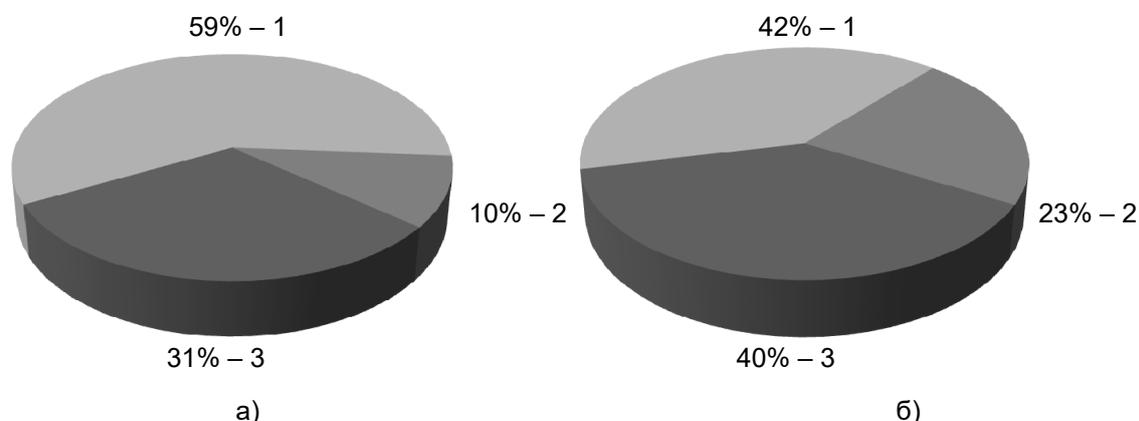


Рисунок 1 – Распределение МО в судовых тронковых дизелях: а)-по количеству двигателей; б)-по мощности; 1-ФТОМП; 2-саморегенерирующий фильтр; 3-КМОК (ФГО+ЦО или центробежный сепаратор (ЦС))

Приведенные гистограммы [5] наглядно иллюстрируют эффективность маслоочистителей разных типов, из которых видны огромные преимущества ФТОМП по надежности защиты пар трения от наиболее опасных частиц ($d = 15-40$ мкм) механических примесей. Частичнопоточный фильтр по этому показателю уступает ФТОМП в 2-3 раза [6]. Его эффективность по N_{ϕ} может в лучшем случае приближаться к результатам испытания масляной центрифуги с наружным реактивным приводом, частичнопоточной (МЦН-ЧП).

По интенсивности очистки от мелкодисперсных продуктов ФТОМП, как видно из рисунков [5], в 14 раз уступает МЦН-ЧП или ФЧП (фильтр частичнопоточный). Обобщение данных по судовым ДВС средней форсировки при работе их на дизельном и моторных топливах показало снижение изнашивания основных деталей трения двигателей при применении ФТОМП, МЦН-ЧП (ФЧП) и масляной центрифуги (с наружным гидравлическим приводом), полнопоточной (МЦН-ПП) по сравнению с фильтрованием масла ФГО соответственно на 100, 61 и 37% [6]. Учитывая преимущества ФТОМП по N_{ϕ} и ФЧП по интенсивности фильтрования Q_{ϕ}, ρ_{ϕ} , эффект от их сочетания (применения комбинированной очистки масла) по показателю I будет еще выше.

Полнопоточные центрифуги с наружным реактивным приводом МЦН-ПП могут применяться в дизелях ограниченной мощности с $P_{ен}$ до 1000 кВт. Они способны эффективно обрабатывать потоки масла до $12 \text{ м}^3/\text{ч}$. Недостаток их состоит в повышенном гидравлическом сопротивлении. Перепад давления при прохождении масла через них может составлять 0,3 МПа. Основной их недостаток – пропуск опасных частиц НРП в пары трения при пуске двигателя. Полная раскрутка ротора такого ЦО наступает через 2-3 мин работы. В течение этого периода возможно попадание во внутреннюю систему смазки дизеля крупных абразивных частиц загрязнения.

При пуске дизеля, оснащенного МЦН-ПП, надежность защиты его пар трения от механических примесей диаметром 15-40 мкм составляет 6-30% [5]. Поэтому в условиях эксплуатации, когда в систему смазки ДВС могут попадать в больших количествах кварцевые или иные твердые абразивные частицы загрязнений, применение полнопоточных центрифуг не желательно. В тракторных и автомобильных ДВС старых моделей выпуска 70-х годов они широко применялись в сочетании с ФГО [1, 2].

Основное преимущество МЦН-ПП состоит в высоких значениях N_{ϕ} и Q_{ϕ}, ρ_{ϕ} на номинальных режимах работы двигателя. Поэтому в судовых ДВС малой и средней мощности, где поступление в систему смазки крупных частиц механических примесей незначительно, эти маслоочистители хорошо себя зарекомендовали [2, 3]. Из-за ограниченности их пропускной способности в дизелях с потоками масла через внутреннюю систему смазки более $10 \text{ м}^3/\text{ч}$

они практически не применяются.

Альтернативным решением, которое позволило бы сочетать достоинства очистки ММ по полно–частичнопоточным схемам является применение комбинированных маслоочистительных комплексов. Принципы комбинированной очистки смазочного масла и методы повышения их эффективности при сочетании полнопоточного фильтрования и частичнопоточного центрифугирования рассмотрены в работах [1, 3, 4, 6].

В этих исследованиях показана рациональность оптимального перераспределения грязевой нагрузки между фильтром и центрифугой. Важно облегчить работу ФТОМП, сняв с него необходимость задерживать мелкодисперсную фазу нерастворимых загрязнений. Таким образом, создаются условия для длительной работы его фильтрующих элементов (ФЭ) с низким гидравлическим сопротивлением без открытия перепускного (предохранительного) клапана. Этим мероприятием не только повышается надежность защиты пар трения дизеля от попадания опасных крупных частиц загрязнений, но и увеличивается срок службы ФЭ и период необслуживаемой работы ФТОМП.

Центрифуга хорошо справляется с задачей удаления из ММ мелкодисперсных НРП загрязнений. По этому показателю она может превосходить ФТОМП в 8-20 раз [4,6]. Это достоинство ЦО широко используется в КМОК, облегчая функционирование полнопоточного фильтра. Грязевая нагрузка между агрегатами очистки КМОК распределяется так, что у центрифуги она в 10-12 раз выше, чем у фильтра [2, 5].

Анализ публикаций по КМОК показывает, что комбинированные системы очистки, сочетающие достоинства полнопоточного фильтрования и частичнопоточного центрифугирования, наиболее результативны при использовании в дизелях ММ с зольными присадками [1]. Это обусловлено тем, что ЦО хорошо удаляют из-за их повышенной плотности продукты срабатывания зольных присадок, являющиеся катализаторами окисления масел. Интенсивное отфуговывание ЦО этих загрязнений способствует не только увеличению срока службы ММ, но и снижает изнашивание основных деталей ДВС, особенно поршневых колец. Последнее способствует стабилизации расхода масла на угар на низком уровне [4, 6].

Важным следует отметить и то, что КМОК, включающий ЦО, хорошо проявил себя в СС дизелей, работающих на тяжелых топливах, в частности флотских и топочных мазутах. Это связано с повышенной скоростью загрязнения масел НРП в тяжелых условиях эксплуатации, когда значительно возрастает не только поступление в масло загрязнений, но и их плотность и абразивность [4].

Центрифуга успешно справляется с задачей эффективного удаления из ММ загрязнений этого вида. Нагрузки на КМОК увеличиваются также при форсировке дизеля наддувом и работе его с низким угаром масла. В данном случае ММ стареет интенсивнее и в СС продукты загрязнения поступают с большей скоростью. А так как при малом угаре ММ маслообмен занижен, то концентрация в масле как общих, так и зольных НРП возрастает, что приводит к функционированию ФТОМП и ЦО в более тяжелых условиях.

Неэффективная работа комбинированных систем тонкой очистки масла, включающих полнопоточный фильтр и байпасно подключенную центрифугу, возможна при низких рабочих давлениях в системе смазки, применении масел с беззольными или малозольными присадками, длительной продолжительностью эксплуатации дизеля на переменных режимах с высокой долей холостого хода.

Это же явление наблюдается при низкотемпературных режимах работы СС, что, в общем, приводит к изменению направления старения масла. В таком случае в масле образуется больше смол и асфальтенов, поэтому ФЭ интенсивно осмоляются и за короткий срок теряют пропускную способность. В данных условиях работы ротор ЦО не развивает заданной частоты вращения, его фактор разделения падает, и он не обеспечивает требуемую интенсивность очистки масла. Центрифугирование ММ при низких давлениях в СС и пониженных температурах масла неэффективно [3, 6].

Дизели 6(8)ЧН18/22, 6ЧН25/34, 5АL25 (5ЧН25/30), 524TS (5ЧН24/31), 6VD26/20А (6ЧН20/26), 6NVD36А (6ЧН24/36), 8NVD48А-2U, (8ЧН32/48), в которых испытывались полнопоточные и комбинированные СТOM, были разделены на две группы. К первой относились ДВС с благоприятными условиями функционирования центрифуг. Вторая группа представляла дизели, в которых работа ЦО с высоким фактором разделения была затруднена или их эффективность не могла проявиться в должной мере по перечисленным ранее причинам. Сравнивалась эффективность полнопоточной и комбинированной СТOM. В ФТОМП использовали ФЭ поверхностного типа. В основном это были элементы «Нарва 6-4», Н15, Н20,

ЭФМ145/55.363 и ФЭ 193/120.173 [2, 4, 6].

КМОК содержал фильтры ФМП-2 – 2ФМП-6, работающие как по полнопоточной схеме очистки, так и комбинированной – с дополнительным байпасным включением очистителей типа МЦН-(5–8)ЧП. Средняя нагрузка дизелей, используемые ММ и топлива в сравниваемых вариантах маслоочистки были одинаковыми. В группах они отличались, так как для одной из них (второй) создавались условия, в которых центрифуга не могла проявить свои достоинства в полной мере. В тоже время это были условия, вполне реальные для эксплуатации дизелей второй группы.

Если в СС дизелей с благоприятными условиями работы ЦО переход от ФТОМП к КМОК дает увеличение удельной интенсивности очистки ММ от общих и зольных НРП, выраженной относительно скорости загрязнения масла этими же продуктами, в 12-14 раз, то для второй группы дизелей возрастание этих показателей произошло всего лишь в 4-5 раз [6]. Такая реакция на снижение эффективности ЦО проявилась в увеличении общего загрязнения ММ нерастворимыми продуктами в дизелях второй группы по сравнению с первой в среднем с 1,2 до 1,5%, а зольными НРП – с 0,18 до 0,26%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кича, Г.П. Решение проблемы высокоэффективной очистки моторного масла в судовых дизелях: автореферат дис. ... докт. техн. наук : 05.08.05/ Кича Геннадий Петрович. -Владивосток, 1992. -46 с.
- 2 Кича, Г.П. Агрегаты систем маслоочистки судовых среднеоборотных ДВС: анализ конструкций, результаты испытаний и перспективы развития / Г.П. Кича // Современное состояние и перспективы развития СЭУ. -М.: ВО «Мортехинформреклама», 1983. -С. 3-12.
- 3 Кича, Г.П. Эксплуатационная эффективность новых маслоочисти-тельных комплексов в форсированных дизелях / Г.П. Кича // -Двигателестроение. -1987. -№6. -С. 25-29.
- 4 Кича, Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин. - Владивосток: Изд-во мор. гос. ун-та, 2011. -372 с.
- 5 Семенюк, Л.А. Анализ конструкций маслоочистителей и включение их в систему смазки судовых дизелей / Л.А. Семенюк, П.П. Кича // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2016. -№3-4. -С. 93-99.
- 6 Кича, Г.П. Повышение эффективности тонкой очистки моторного масла в судовых тронковых дизелях комбинированным фильтрованием / Г.П. Кича, Н.Н. Таращан, А.В. Надежкин. -Владивосток: Изд-во мор. гос. ун-та, 2015. -174 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ресурсосберегающее маслоиспользование, моторное масло, комбинированное фильтрование, изнашивание двигателя

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кича Павел Петрович, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ДАЛЬРЫБВТУЗ»
Семенюк Людмила Анатольевна, аспирант ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
Таращан Николай Николаевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690087, г.Владивосток, ул.Луговая, 52Б, ФГБОУ ВПО «ДАЛЬРЫБВТУЗ»
690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

РЕАЛИЗАЦИЯ ТОЧНОГО РЕШЕНИЯ НЕКОТОРОГО КЛАССА ЗАДАЧ, С ПОМОЩЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛГЕБРЫ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

О.Г. Куделин, В.И. Фомин, О.И. Линевиц

REALIZATION OF ACCURATE SOLUTION OF A CLASS OF TASKS THAT ARE REALIZED AT THE INTERSECTION OF ALGEBRA AND ANALYTIC GEOMETRY

Siberian state university of water transport
O.G. Kudelin, V.I. Fomin, O.I. Linevich

At the junction of two Sciences of algebra and analytic geometry solutions to some unusual problems.

Keywords: the extremum of the function, algebra, analytical geometry

На стыке двух наук алгебры и аналитической геометрии предложены решения некоторых нестандартных задач.

Авторами в работах [1-3] было показано, что некоторые задачи, в которых необходимо определять экстремум функции, могут решаться на стыке двух наук – алгебры и аналитической геометрии, если в их условиях содержатся радикальные выражения вида

$$\sqrt{(x - x_{00})^2 + (x - x_{01})^2 + \dots + (y - x_{0n})^2};$$

$$\sqrt{(x - x_{000})^2 + (x - x_{001})^2 + \dots + (y - x_{00n})^2}, \quad (1)$$

где $x_{00}, x_{000}, x_{01}, x_{001}, x_{0n}, x_{00n}$ – константы;
 x, y – переменные.

Напомним реализацию нахождения точного решения (1) на следующем примере.

Пример 1. Найти наименьшее значение функции

$$f(x) = \sqrt{(x-3)^2 + (x-2)^2 + 4} + \sqrt{(x+3)^2 + (x-1)^2 + 33}. \quad (2)$$

Легко заметить, что правая часть (2) не сводится ни к одному из выражений (1), однако, это не мешает применить приём, использованный в работе [1]. С этой целью запишем поставленную функцию (2) в виде

$$f(x) = \sqrt{2} \left[\sqrt{\left(x - \frac{5}{2}\right)^2 + \frac{9}{4}} + \sqrt{(x+1)^2 + \frac{41}{2}} \right]. \quad (3)$$

Дадим геометрическую трактовку полученному выражению (3) с точки зрения аналитической геометрии [4]. Согласно ему, допустимо рассматривать две пары точек, располагающиеся в разных полуплоскостях

$$N_1\left(\frac{5}{2}, \sqrt{\frac{9}{4}}\right), S_1\left(-1, -\sqrt{\frac{41}{2}}\right) \text{ или } N_2\left(\frac{5}{2}, -\sqrt{\frac{9}{4}}\right), S_2\left(-1, \sqrt{\frac{41}{2}}\right).$$

На границе пересечения N_1S_1 или N_2S_2 по оси абсцисс находится точка $M(x, 0)$, координаты которой могут быть легко определены. Но так как в задаче не требуется вычислять её координаты, сразу перейдём к поиску $\min f(x)$, определив на выбор лишь длину любого из отрезков N_1S_1 или N_2S_2

$$\min f(x) = \sqrt{2} \sqrt{\left(-1 - \frac{5}{2}\right)^2 + \left(-\sqrt{\frac{41}{2}} - \sqrt{\frac{9}{4}}\right)^2} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sqrt{82} + 3)^2 + 49}.$$

Ответ

$$\min f(x) = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sqrt{82} + 3)^2 + 49} \approx 9,857.$$

В работе [5] был разработан способ нахождения экстремума функций, содержащей выражения вида

$$\sqrt{(x-x_0)^2 + \dots + (x-x_n)^2} + \sqrt{(x-y_0)^2 + \dots + (x-y_m)^2},$$

где $x_0, \dots, x_n, y_0, \dots, y_m$ – заданные константы;

x – переменная, и где в общем случае, в отличие от работ [1-3], $m \neq n$, $(m, n) \in N^2$.

Итак, будем считать, что $m \neq n$. В данной работе авторы предлагают реализацию нахождения точного значения экстремума функции в этом случае. В работе [1] уже рассматривался вариант решения такой задачи. Однако для её решения был использован численный метод.

Рассмотрим применение аналитического способа решения поставленной задачи без использования численного метода.

Пример 2. Найти наименьшее значение функции

$$S(x) = \sqrt{(x+3)^2 + (x+1)^2 + (x+4)^2} + \sqrt{(x-2)^2 + (x+6)^2}, \quad (4)$$

и координаты соответствующей точки.

Функция $S(x)$ действительно имеет экстремум, причём минимум в некоторой точке x_{\min} , которая пока остаётся неопределённой, то есть

$$\min[S(x)] = S(x_{\min}).$$

При этом число слагаемых в подкоренных выражениях (4), содержащих члены x^2 , различно. Так, в первом, из них их три, а, во втором – два.

Приступим к решению поставленной задачи. С этой целью искусственно уравниваем количество слагаемых в подкоренных выражениях (4) следующей простой операцией

$$S_1(x) = \sqrt{(x+3)^2 + (x+1)^2 + (x+4)^2} + \sqrt{(x-2)^2 + (x+6)^2 + (x^2 - x_{\min}^2)},$$

где x_{\min} – некоторое число, при котором, с одной стороны, функция $S_1(x)$ точно совпадает с функцией $S(x)$, то есть $S(x_{\min}) \equiv S_1(x_{\min})$, а с другой, определяет её минималь-

ное значение

$$\min[S(x)] = \lim_{x \rightarrow x_{\min}} S_1(x) \equiv S_1(x_{\min}) = S(x_{\min}).$$

Далее подобно тому, как это делалось в примере 1, преобразуем полученную функцию $S_1(x)$ следующим образом:

$$S_1(x) = \sqrt{3} \left[\sqrt{\left(x + \frac{8}{3}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{14}}{3}\right)^2} + \sqrt{\left(x + \frac{4}{3}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{104 - 3x_{\min}^2}}{3}\right)^2} \right], \quad (5)$$

$$-\sqrt{\frac{104}{3}} \leq x_{\min} \leq \sqrt{\frac{104}{3}}. \quad (6)$$

Теперь приступим к поиску экстремума функции $S_1(x)$, для этого необходимо лишь в выражении (5) положить $x = x_{\min}$, и найти его.

Подобная задача уже решалась в работе [5]. В ней, используя численный метод половинного деления, вычислялось значение x_{\min} с последующим определением значения экстремума функции $S_1(x)$. Результат был таким

$$\min S(x) = S(x_{\min}) = S_1(x_{\min} = -2,2869657) \approx 7,9295305. \quad (7)$$

В данной работе авторы, не опираясь на численный подход, предлагают схему реализации точного решения по нахождению x_{\min} с последующим определением значения экстремума функции $S_1(x)$.

Дадим геометрическую трактовку полученному выражению в правой части (6) при условии, что $x = x_{\min}$.

С точки зрения аналитической геометрии рассмотрим две пары точек

$$N_1\left(-\frac{8}{3}, \frac{\sqrt{14}}{3}\right); S_1\left(-\frac{4}{3}, -\frac{\sqrt{104 - 3x_{\min}^2}}{3}\right),$$

или

$$N_2\left(-\frac{8}{3}, -\frac{\sqrt{14}}{3}\right); S_2\left(-\frac{4}{3}, \frac{\sqrt{104 - 3x_{\min}^2}}{3}\right). \quad (8)$$

При таком выборе (9) они размещаются, согласно примеру 1, в разных полуплоскостях.

На границе их пересечения по оси абсцисс может находиться точка $M(x_{\min}, 0)$. Потребуем, чтобы она лежала внутри любого из отрезков N_1S_1 или N_2S_2 , пересечением которых и может быть определена её координата. Пусть таким отрезком, например, будет N_2S_2 . При этом учтём, что пересечением ограничений, наложенных на аргумент x_{\min} в (6) и в (9), будет следующая область допустимых значений

$$x_{\min} \in \left[-\frac{8}{3}, -\frac{4}{3}\right]. \quad (9)$$

Составим уравнение прямой, проходящей через точки N_2 и S_2 . Для этого составим два вектора

$$\overline{N_2S_2} = \left\{ \frac{4}{3}, \frac{\sqrt{104 - 3x_{\min}^2}}{3} + \frac{\sqrt{14}}{3} \right\}; \overline{N_2M} = \left\{ x_{\min} + \frac{8}{3}, \frac{\sqrt{14}}{3} \right\}.$$

Учитывая, что

$$\overline{N_1S_1} \uparrow \uparrow \overline{N_1M} \Leftrightarrow \frac{x_{\min} + \frac{8}{3}}{\frac{4}{3}} = \frac{\frac{\sqrt{14}}{3}}{\frac{\sqrt{104 - 3x_{\min}^2}}{3} + \frac{\sqrt{14}}{3}},$$

получаем уравнение в виде

$$\frac{1}{4} \left(x_{\min} + \frac{8}{3} \right) \left(\sqrt{104 - 3x_{\min}^2} + \sqrt{14} \right) - \frac{\sqrt{14}}{3} = 0.$$

После несложных преобразований оно приводится к уравнению четвёртой степени с ограничением согласно (9)

$$x_{\min}^4 + \frac{16}{3}x_{\min}^3 - \frac{206}{9}x_{\min}^2 - \frac{1552}{9}x_{\min} - \frac{2144}{9} = 0. \quad (10)$$

Уравнение (10) может иметь несколько значений действительных корней (не более четырёх). Находим одно из них, которое удовлетворяет ограничению (9), с помощью точного метода Феррари [5]

$$x_{\min} = -2,2869657.$$

И далее, используя полученный результат, определяем экстремум с помощью следующего выражения

$$\min[S(x)] = S(x_{\min}) = \sqrt{3} \sqrt{\left(\frac{4}{3}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{104 - 3x_{\min}^2}}{3} + \frac{\sqrt{14}}{3}\right)^2} \approx 7,9295305. \quad (12)$$

Как следует из выражений (7) и (12), полученные результаты совпадают.

Ответ

$$\min S(x_{\min} = -2,2869657) \approx 7,9295305.$$

Задачи в данной статье решались неординарно на стыке двух наук: алгебры и аналитической геометрии с использованием метода Феррари. Реализацию предложенного метода для класса задач, использующих выражения (1), можно считать точной. Это позволяет упростить «лобовые решения» традиционных подходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Куделин, О.Г. Нестандартное решение некоторых алгебраических задач с помощью аналитической геометрии / О.Г. Куделин, В.И. Фомин // -Научн. пробл. Сиб. и Дальн. Вост. -2015. -№3. -С. 130-136.
- 2 Куделин, О.Г. Аналитическое решение некоторого класса задач, реализующихся на стыке алгебры и аналитической геометрии / О.Г. Куделин, В.И. Фомин // -Научн. пробл. Сиб. и Дальн. Вост. -2015. -№3. -С. 130-136.
- 3 Куделин, О.Г. Способ нахождения экстремума для некоторого класса функций на стыке алгебры и аналитической геометрии / О.Г. Куделин, В.И. Фомин // -Научн. пробл. Сиб. и Дальн. Вост. -2016. -№1-2. -С. 70-72.
- 4 Клетеник, Д.В. Сборник задач по аналитической геометрии / Д.В. Клетеник. -М.: Наука, 1986. -223 с.
- 5 Курош, А.Г. Курс высшей алгебры / А.Г. Курош. -М.: Наука, 1965, -431 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»
 Линевиц Ольга Игоревна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 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

A THEORETICAL APPROACH TO THE DEFINITION OF AN EXTREMUM POINT COORDINATES FOR SOME CLASS FUNCTIONS USING ALGEBRA AND ANALYTICAL GEOMETRY
 Siberian state university of water transport
 O.G. Kudelin, V.I. Fomin

At the junction of two sciences of algebra and analytic geometry solutions to some unusual problems.

Keywords: extremum of the function, algebra, analytical geometry

На стыке двух наук алгебры и аналитической геометрии предложены решения некоторых нестандартных задач.

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 коор-

динатами, показанного на рисунке 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 интересный 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 равносоставленному треугольнику – $\triangle AOB$, $\triangle BNB$, $\triangle AMC$, то описанные окружности, проведенные вокруг каждого из этих равносоставленных 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

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

$$AN = BM = CO = p + q + r, \quad (2)$$

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 доказательству, известен:

$$p + q + r = \min[f(x, y)] = f(x_0, y_0) = \text{SUM}, T(x_0, y_0) \in \triangle ABC. \quad (3)$$

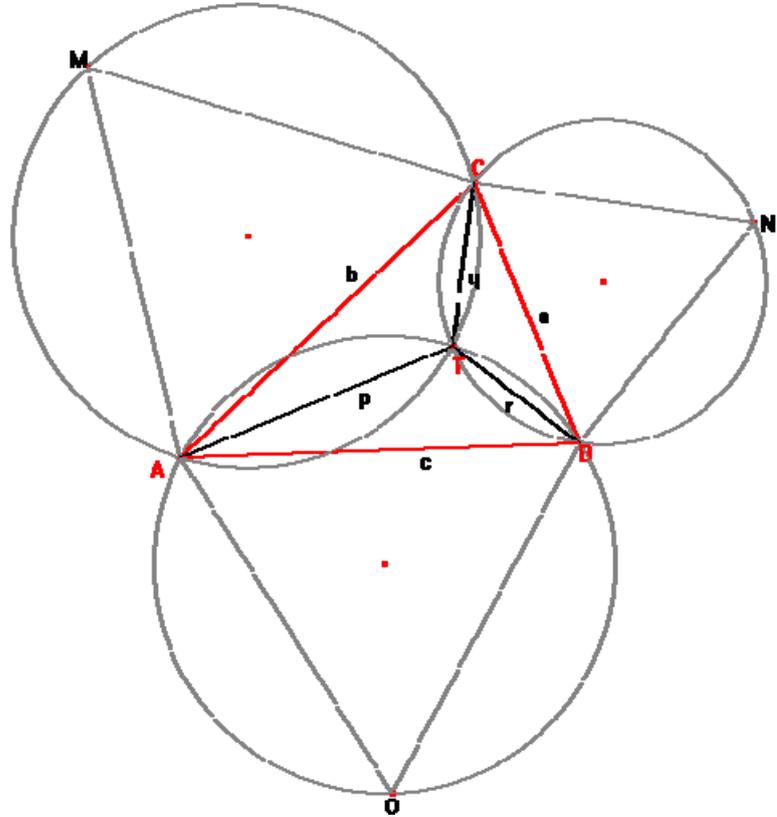
Таким образом, часть задачи решена, согласно выражению (3). Однако нахождение координат самой точки $T(x_0, y_0)$ остаётся под вопросом. Авторы в данной статье предлагают свой аналитический подход к решению этой непростой задачи.

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.

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 $\triangle ABE$ – равносоставленный, 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 .

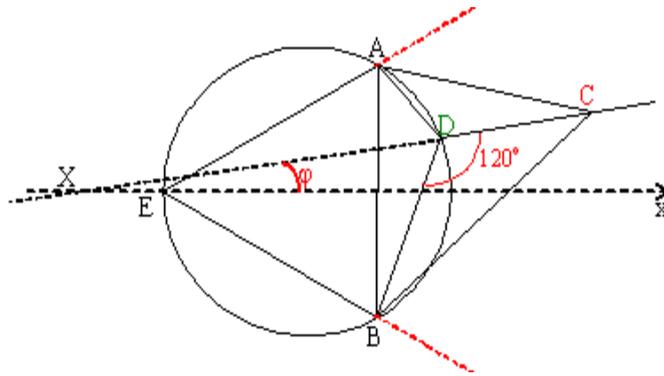


Рисунок 2 – Точки треугольника $\triangle ABC$ с координатами в новой системе координат $A(x_{001}, y_{001}), \{(x_{01}, y_{01}) \rightarrow (x_{001}, y_{001})\}; B(x_{001}, -y_{001}), \{(x_{02}, y_{02}) \rightarrow (x_{01}, -y_{01})\}$ -симметричны относительно оси OX ; $C(x_{003}, y_{003}), \{(x_{02}, y_{02}) \rightarrow (x_{003}, y_{003})\}$, а также точка $D, \{T \rightarrow D\}$ -точка Торричелли

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 $\varphi \in (-30^\circ, +30^\circ)$.

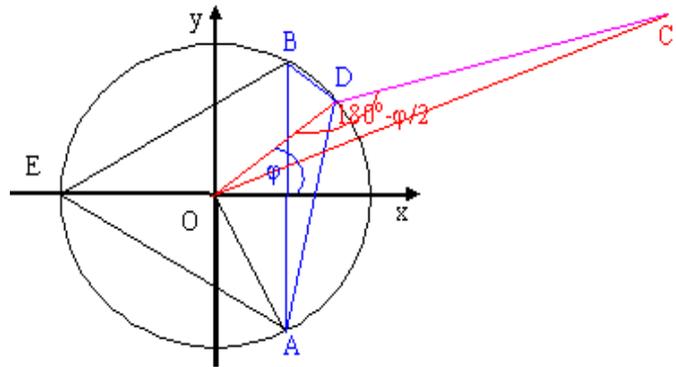


Рисунок 3 – $\triangle ODC$, усматриваются $\triangle ABC$, $\triangle OBD$ отрезки BD, AD

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]

$$\begin{aligned} BD^2 &= OB^2 + OD^2 - 2OB \cdot OD \cos\left(\frac{\pi}{3} - \varphi\right) = 2R^2 \left[1 - \cos\left(\frac{\pi}{3} - \varphi\right)\right] = \\ &= 2R^2 \left(1 - \frac{\cos \varphi}{2} - \frac{\sqrt{3} \sin \varphi}{2}\right). \end{aligned} \tag{4}$$

Из $\triangle ODA$ следует, согласно [2]

$$\begin{aligned} AD^2 &= AO^2 + OD^2 - 2AO \cdot OD \cos\left(\frac{\pi}{3} + \varphi\right) = 2R^2 \left[1 - \cos\left(\frac{\pi}{3} + \varphi\right)\right] = \\ &= 2R^2 \left(1 - \frac{\cos \varphi}{2} + \frac{\sqrt{3} \sin \varphi}{2}\right). \end{aligned} \tag{5}$$

Найдём и удвоенное произведение AD на BD

$$2BD \cdot AD = \sqrt{2R^2 \left(1 - \frac{\cos \varphi}{2} - \frac{\sqrt{3} \sin \varphi}{2}\right)} \sqrt{2R^2 \left(1 - \frac{\cos \varphi}{2} + \frac{\sqrt{3} \sin \varphi}{2}\right)} = 2R^2 (2 \cos \varphi - 1). \tag{6}$$

Итак, используя результаты формул (4)-(6), имеем

$$\begin{aligned} (AD + BD)^2 &= AD^2 + BD^2 + 2AD \cdot BD = 2R^2 \left(1 - \frac{\cos \varphi}{2} - \frac{\sqrt{3} \sin \varphi}{2}\right) + 2R^2 \left(1 - \frac{\cos \varphi}{2} + \frac{\sqrt{3} \sin \varphi}{2}\right) + \\ &+ 2R^2 (2 \cos \varphi - 1) = 2R^2 (\cos \varphi + 1) \Rightarrow AD + BD = 2R \cos(\varphi/2). \end{aligned}$$

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

$$DC = SUM - 2R \cos \frac{\varphi}{2}; \angle ODC = 180^\circ - \frac{\varphi}{2},$$

имеем

$$OC = \sqrt{R^2 + \left(SUM - 2R \cos \frac{\varphi}{2}\right)^2 - 2R \left(SUM - 2R \cos \frac{\varphi}{2}\right) \cos \left(180^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} \rightarrow$$

$$\rightarrow 8R^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2} - 4R \cdot SUM \cos \frac{\varphi}{2} + (R^2 + SUM^2 - OC^2) = 0. \quad (7)$$

Из квадратного уравнения (7) относительно неизвестной $\cos(\varphi/2)$, учитывая известные знания 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Куделин, О.Г. Определение экстремума для некоторого класса функций с использованием алгебры и аналитической геометрии / О.Г. Куделин, В.И. Фомин // -Научн. пробл. Сиб. и Дальн. Вост. -2017. -№1. -С.125-128.
 2 Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. -М.: Наука, 2003. -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»

КОМПЕНСАЦИЯ ИЗНОСОВ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ АЛЮМОТЕРМИТНОЙ НАПЛАВКОЙ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Л.К. Арабьян, З.Б. Батаева, А.С. Авотин

COMPENSATION FOR WEAR OF SHIP STRUCTURES BY ALUMINOTHERMIC SURFACING

Siberian state university of water transport

L.K. Arabyan, Z.B. Bataeva, A.S. Avotin

The possibility of using aluminothermic surfacing to eliminate wear of ship structures is considered. The technology of restoration of worn out structures by aluminothermic surfacing is proposed. The problems that can arise when using this technology and the ways for their elimination are discussed.

Keywords: compensation of wear, aluminothermal surfacing, ship structures, burden, restoration technology

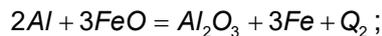
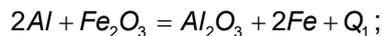
Рассматривается возможность применения упрочняющей алюмотермитной наплавки для устранения износов судовых конструкций. Предлагается технология восстановления изношенных конструкций методом алюмотермитной наплавки. Отмечены проблемы, которые могут возникать при использовании данной технологии и мероприятия по их устранению.

В процессе эксплуатации судовые конструкции получают повреждения и износы. Крупные элементы корпуса и узлы могут устраняться заменой, вмятины устраняются правкой. Судовые конструкции устраняются заменой, как правило, только при достижении износа соответствующего 20% от строительной толщины. Реально владельцы флота по причине износа вынуждены заменять до 70-80% корпусных конструкций по истечении 25-30 лет эксплуатации судна. Практически подлежат замене днищевые, бортовые конструкции и пере-

борки. Между тем альтернативой замене конструкций являются несколько методов, в основном связанные с подкреплениями ослабленных изношенных конструкций путем постановки бетонных и металлических элементов, эти методы описаны в работах [1, 2]. Следует отметить, что эти методы связаны со значительным утяжелением корпусов, то есть со снижением грузоподъемности судов, а так же со значительной стоимостью и трудоемкостью работ.

Интересным направлением, заслуживающим отдельного рассмотрения, является возможность применения упрочняющей алюмотермитной наплавки судовых конструкций. Корпуса судов подвергаются износу в основном со стороны внутренних днищевых конструкций бортового и днищевого набора, а так же листовых конструкций. Для большинства судов внутреннего плавания предельная величина износа днища и набора составляет от двух до трех миллиметров, если нанести этот слой металла на судовые конструкции, то можно повысить техническое состояние корпуса до «годного» технического состояния без дорогостоящей замены конструкций. Из всех анализируемых методов нанесения прочностных «несущих» слоев наиболее подходящим является метод промежуточного литья алюмотермитной сварки.

В настоящее время наиболее широкое применение алюмотермитная сварка находит на железной дороге при сварке стыков рельсов и рельсовых переводов [3]. Для сварки рельсов применяют железоалюминиевый термит, представляющий собой механическую смесь окислов железа (главным образом закиси-окиси) и алюминиевого порошка. Источником кислорода в термите является окисел, а источником тепла (горючим) является металл – алюминий (реже магний), кроме того в термит вводят легирующие наполнители, а для увеличения выхода стали железную обсежку. Наиболее часто используются алюминиевые термиты, которые состоят из 20-25% алюминиевого порошка и 70-75% окалины. Реакция горения термита выражается так



Тепловой эффект: $Q_1 = 752$ Дж/моль; $Q_2 = 775,6$ Дж/моль.

Температура процессов: $T_1 = 2670$ °С, $T_2 \approx T_3$, $T_3 = 2260$ °С.

При выходе термитного железа примерно 60% и шлака примерно 40% в продуктах реакции. В процессе термитной реакции происходит выгорание ряда элементов – углерода до 30%, кремния до 20%, марганца до 80%, что заставляет перед реакцией регулировать состав шихты для получения необходимого состава исходного материала.

Для устранения характерных повреждений рельсов, таких как образование трещин, выкрашивание металла на боковых головках рельсов, наиболее подходящим является сварка методом промежуточного литья. Аналогичная технология применяется для устранения поверхностных дефектов стального литья [3]. На рисунке показана схема экзотермической наплавки поверхностного дефекта.

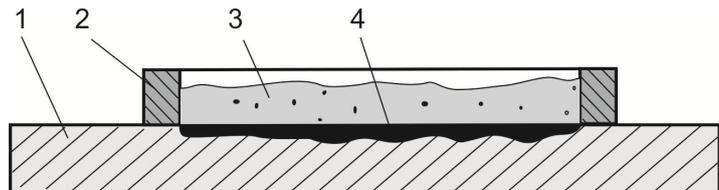


Рисунок – Схема наплавки поверхностного дефекта стальной детали: 1-восстанавливаемая деталь, 2-наплавленный металл, 3-шихта, 4-ограждение съемное

В настоящей статье, на основании

вышеизложенных данных, предлагается применить аналогичную технологию для компенсации износов корпусных конструкций. Следует отметить, что применение данной технологии для восстановления корпусов, имеет свои сложности.

Во-первых, это связано с нанесением тонкого слоя расплавленного металла на сравнительно тонкие листовые конструкции. Например, корпусные конструкции баржи проекта Р-29А, эксплуатация которой распространена в регионах Сибири и Дальнего Востока, изготовлены из стали Ст.3сп. ГОСТ 5521-93, имеют номинальные толщины от шести до десяти миллиметров, а компенсацию износов необходимо осуществлять на толщине от двух до четырех миллиметров. Что может привести к деформации и даже пережогу листовых конструкций под воздействием перегретой высокотемпературной струи металла. Во-вторых, сложность заключается в нанесении расплавленного металла на вертикальные и горизонтальные поверхности изношенных судовых конструкций.

Для решения этих проблем, возможно, использовать технологию разделения процесса плавления шихты в специальном многоразовом тигле и специальном переналаживаемом литейном кокиле, изготовленном по форме восстанавливаемых узлов корпуса судна. Для устранения деформации конструкций при нанесении упрочняющих слоев возможно использование предварительного подогрева до 500 °С. Кстати, подогрев необходим при использовании любого вида алюмотермитной сварки.

Таким образом, технология восстановления изношенных конструкций будет включать следующие операции:

– зачистка восстанавливаемых конструкций от продуктов коррозии до степени три по ОСТ 5.9829-81;

– отвеска шихты с учетом необходимого выхода металла и содержания химического состава компонентов;

– предварительный подогрев восстанавливаемого узла до 500 °С;

– установка кокиля на восстанавливаемый узел, подключение, при необходимости, системы охлаждения;

– установка плавильного тигля, присоединение его к кокилю и зажигание шихты;

– заливка, охлаждение кокиля и нанесенного слоя с учетом необходимой скорости охлаждения восстановленного узла.

По предварительным расчетам использование предлагаемого метода позволяет почти на порядок снизить расходы на ремонт изношенных металлоконструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Арабьян, Л.К. О перспективе применения композитов в подкреплении судовых конструкций/ Л.К. Арабьян, З.Б. Батаева, А.Ю. Кононенко// -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2013. -№1. -С. 182-184.

2 Арабьян, Л.К. Совершенствование технологии подкрепления судовых конструкций/ Л.К. Арабьян, А.С. Авотин, З.Б. Батаева, В.И. Кузьмин// -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2016. -№1-2. -С. 61-63.

3 Пасько, С.В. Алюмотермитная сварка рельсов методом промежуточного литья по технологии фирмы «СНАГА»: учеб. пособие/ С.В. Пасько, Л.Б. Тихомирова, О.В. Болотова. -Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. унив. путей сообщ., 2010. -100 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *компенсация износов, алюмотермитная наплавка, судовые конструкции, шихта, технология восстановления*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Арабьян Левон Карапетович, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Батаева Зинаида Борисовна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Авотин Алексей Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

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

ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ДИЗЕЛЬНОЙ САЖИ ТОПЛИВ С ПРИСАДКАМИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

В.П. Пушкин, Г.А. Долгополов

DIESEL ENGINE SOOT WARMTH- AND ELECTRICAL CONDUCTION FUELS WITH OF ADDITIVES

Siberian state university of water transport

V.P. Pushnin, G.A. Dolgoplov

Results of researches diesel engine soot heavy fuels without additive and with anti-smoke additives presented. By experiment dependence the soot warmth conduction and electrical conduction under additives introduce were found.

Keywords: soot in diesel engine, fuel additives, soot warmth conduction, soot electrical conduction

Приведены результаты исследований дизельной сажи тяжелого топлива без присадки и с противодымными присадками. Экспериментально установлена зависимость теплопроводности и электропроводности сажи при введении присадок.

Согласно ASTM D 3849 [1] описательными терминами для промышленной сажи (технического углерода) являются «частица» и «агрегат». Под агрегатом понимается наименьшая диспергируемая единица технического углерода, состоящая из обширно сросшихся частиц. Частица отделяется от агрегата только путем разрыва. Образования, состоящие из агрегатов, являются агломератами.

В соответствие с работой [2] агрегат дизельной сажи есть композиционное вещество на основе углеводорода. Поэтому поверхностный слой агрегатов сажи с повышенным содер-

жанием минеральных составляющих имеет нарушенную ориентацию кристаллитов, причиной чего являются наполнители из минеральных элементов (рисунок 1). Электрическое сопротивление на различных участках поверхностного слоя агрегата сажи должно отличаться. Другим должно быть и электрическое сопротивление в месте контакта агрегатов, входящих в агломераты.

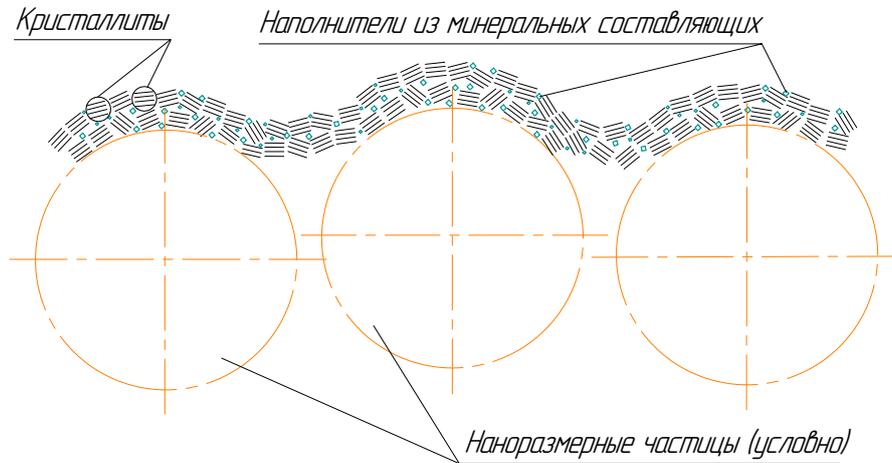


Рисунок 1 – Модель строения поверхностного слоя агрегатов дизельной сажи с нарушенной ориентацией кристаллитов [2]

В проводимых экспериментах принималось, что после введения присадок в топливо при сохранении значений сажесодержания выпускных газов степень искажения структуры поверхностного слоя агрегатов сажи практически не изменяется.

Поскольку агрегат дизельной сажи определен как сплав, то можно попробовать провести аналогию со сплавами металлов. Передача теплоты в металлах и их сплавах осуществляется за счет движения свободных электронов и упругими колебаниями атомов в узлах кристаллической решетки. Электронная теплопроводность в металлах большая, а в сплавах она уменьшается. Для сплавов теплопроводность изменяется при изменении химического состава сплава в основном по тем же закономерностям, что и электропроводность [3]. Чистые металлы имеют примерно одинаковое значение отношения числа Лоренца

$$L = \lambda\rho/T .$$

где λ – коэффициент теплопроводности;
 T – абсолютная температура;
 γ – удельная электрическая проводимость

$$\gamma = 1/\rho;$$

ρ – удельное электрическое сопротивление.

Кристаллиты сажи схожи с кристалликами поликристаллического графита. По характеру электропроводности сажа и поликристаллический графит являются полупроводниками – нагревание увеличивает их электропроводность [4]. Увеличение теплопроводности у дизельной сажи при нагревании показано в [5], что связано с повышением интенсивности колебаний кристаллической решетки, низкие значения λ объясняются пористым строением. Сажу и поликристаллический графит можно рассматривать как плохие проводники, однако монокристалл графита в направлении параллельном плоскости слоя имеет высокие и электропроводность и теплопроводность (таблица 1). Это же, очевидно, можно распространить и на кристаллиты сажи.

Таблица 1 – Анизотропия свойств графита [4] и число Лоренца

Показатель	Значения показателя, измеренного	
	параллельно плоскости слоя	перпендикулярно плоскости слоя
ρ , Ом·м	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-4}$
λ , Вт/(м·К) при $T = 323$ К	251	83,8
L , Вт·Ом/К ²	$7,77 \cdot 10^{-8}$	$2,59 \cdot 10^{-3}$

В проводимых нами экспериментах теплопроводность сажи определялась на приборе

ИТ-А-400. Измеритель предназначен для исследования теплопроводности твердых механически обрабатываемых материалов. При работе с сажей формирование образца, а также измерение его высоты были выполнены непосредственно в рабочей области прибора, что подробно изложено в [5].

Электрическое сопротивление сажи производилось в устройстве [6], рабочая камера которого представляла собой вертикальную трубку из электроизоляционного материала. Внутри находились неподвижный нижний и подвижный верхний электроды. Формирование столба сажи производилось ее свободной засыпкой с последующим сжатием до требуемых значений степени уплотнения сажи ε .

Присадки вводились в моторное топливо ДТ, кинематической вязкостью $4,6 \text{ мм}^2/\text{с}$ при $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Топливо сжигалось в дизеле 148,5/11 с измененной конструкцией вставки дополнительной камеры и уменьшенным углом опережения подачи топлива. Это обеспечило высокое саже-содержание выпускных газов в пределах $1,0\text{-}1,05 \text{ г}/\text{м}^3$, которое при введении присадок сохранялось. Подсчитанная зольность сажи моторного топлива ДТ при максимально допустимой зольности данного топлива составила 2,48%.

На рисунке 2 дана зависимость ρ от ε для сажи указанного топлива с рядом присадок. Степень уплотнения ε определялась как отношение высоты столба сажи при свободной засыпке и сжатого.

Снижение электрического сопротивления при уплотнении объясняется появлением дополнительных электропроводных мостиков между агрегатами.

В таблице 2 приведены значения теплопроводности сажи при ее степени уплотнения определяемой как $\rho_c/\rho_{с.н}$ (отношение плотности обусловленной действующим усилием в приборе и насыпной), а также данные по электропроводности при $\varepsilon = 2,2$ и вычисленное значение числа Лоренца.

Таблица 2 – Тепло- и электропроводность дизельной сажи с присадками

Топливо	λ , Вт/(м·К) при $50 \text{ }^\circ\text{C}$	$\rho_c/\rho_{с.н}$	ρ , Ом·м при $\varepsilon = 2,2$	L , Вт·Ом/К ²
Моторное ДТ (базовое)	0,044	1,82	104,0	$14,2 \cdot 10^{-3}$
Базовое с 1% Парадайн 12	0,055	1,59	42,5	$7,24 \cdot 10^{-3}$
Базовое с 0,2% Гамленол	0,045	1,57	425,0	$59,2 \cdot 10^{-3}$
Базовое с 1,0% Дислип Ф	0,042	1,62	708,0	$92,1 \cdot 10^{-3}$
Базовое с 0,5% Лубризол	-	-	51,9	-
Базовое с 0,5% ИХП	-	-	118,0	-

Число Лоренца дизельной сажи оказалось немногим больше, чем у монокристалла графита перпендикулярно плоскости слоя, что не соответствует новой модели строения поверхности частицы технического углерода из перекрывающихся графитовых «чешуек» [7]. Значительные различия числа Лоренца не позволяют его использовать для вычисления λ при найденных значениях ρ .

На рисунке 3 на основании таблицы 2 построена зависимость тепло- и электропроводности аппроксимируемая линейным графиком

$$\lambda = 4,16 \cdot 10^{-2} + 5,31 \cdot 10^{-4} \gamma.$$

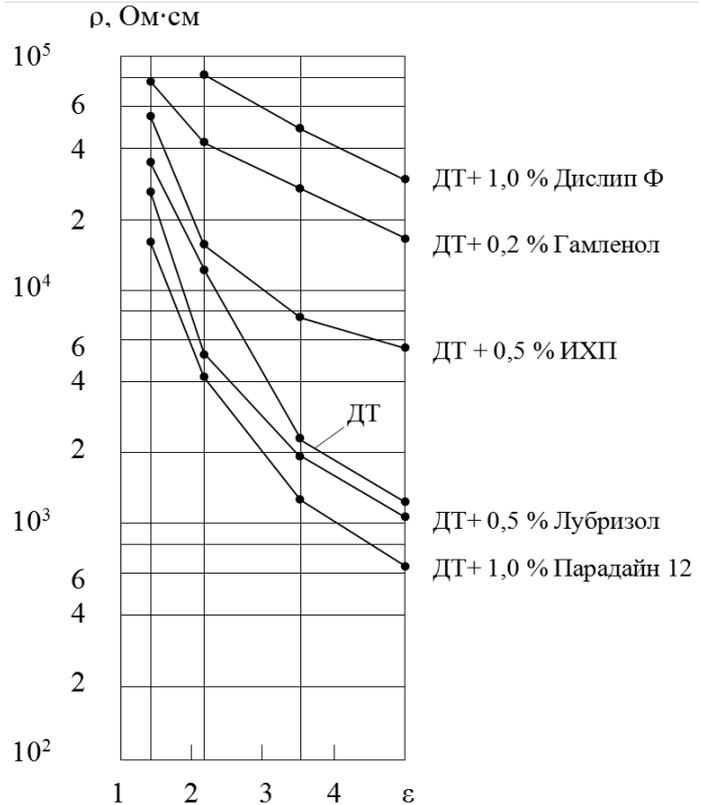


Рисунок 2 – Зависимость удельного электрического сопротивления сажи моторного топлива ДТ с присадками от ее степени уплотнения

Относительная средняя квадратичная погрешность опытных точек от рассматриваемой линейной зависимости 5,5%.

Добавление к металлу даже более высокотеплопроводного компонента не приводит к росту теплопроводности сплава (таблица 3). Это оказалось верным при введении бария и стронция с присадками Гамленол и Дислип Ф в количестве, указанном в таблице 4. Большее количество введенных металлов с присадкой Парадайн 12 (содержание бария оказалось близким к общей зольности) привело к заметному увеличению теплопроводности.

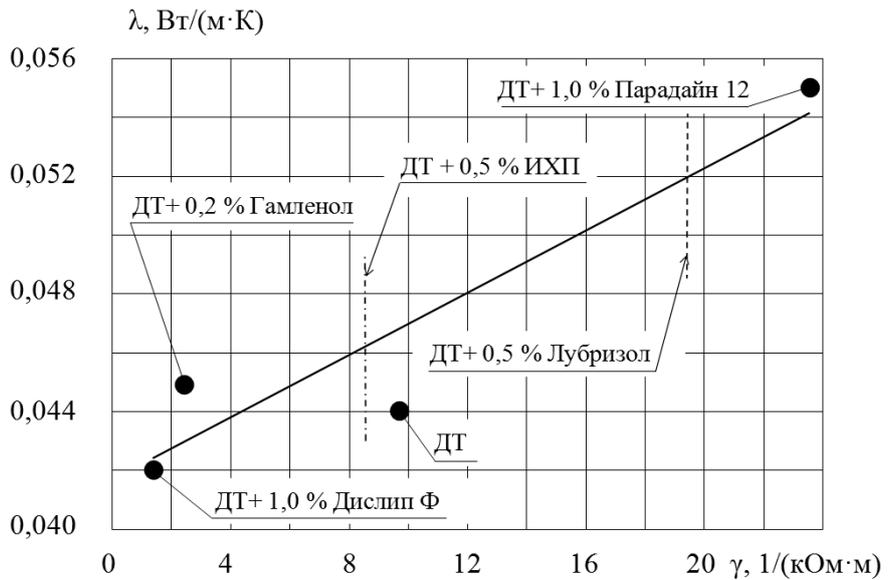


Рисунок 3 – Связь коэффициента теплопроводности дизельной сажи при 50 °С и удельной электрической проводимости при степени уплотнения 2,2 (для топлив с присадками ИХП и Лубризол значения λ не определялись)

Таблица 3 – Коэффициент теплопроводности железа и его сплавов [3]

Наименование компонента	Содержание углерода, %	λ , Вт/(м·К) при 20 °С
Железо	0	74
Сталь углеродистая	0,5	53,6
Чугун	4	51,9
Углерод, графит	100	174

Таблица 4 – Содержание наиболее представленных в саже металлов, вводимых для подавления дыма

Топливо	Содержание элементов, % к массе сажи [8]	
	Барий	Стронций
Моторное ДТ (базовое)	0,38	0,006
Базовое с 1% Парадайн 12	1,00	0,140
Базовое с 0,2% Гамленол	0,32	0,042
Базовое с 1,0% Дислип Ф	0,72	0,089

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ASTM D 3849. Annual Book of ASTM Standards. -1990. -Vol. 09.01. -P. 630.
 2 Пушкин, В.П. Строение сферических наноразмерных частиц дизельной сажи / В.П. Пушкин // -Двигателестроение. - 2015. -№1. -С. 19-25.
 3 Теплотехника / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер и др. -М.: Высш. шк., 2002. -671 с.
 4 Печковская, К.А. Сажа как усилитель каучука / К.А. Печковская. -М.: Химия, 1968. -216 с.
 5 Долгополов, Г.А. Теплопроводность сажи / Г.А. Долгополов, В.П. Пушкин // Дизельные энергет. устан. речных судов: сб. науч. тр. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2002. -С. 87-93.
 6 Пушкин, В.П. Электрическое сопротивление дизельной сажи / В.П. Пушкин // Дизельные энергет. устан. речных судов: сб. науч. тр. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2009. -С. 51-55.
 7 Орлов, В.Ю. Производство и использование технического углерода для резин / В.Ю. Орлов, А.М. Комаров, Л.А. Ляпина. -Ярославль: Александр Рутман, 2002. -512 с.
 8 Пушкин, В.П. Исследование состава сажи выпускных газов дизелей / В.П. Пушкин, В.Д. Сисин // Энергет. устан. речных судов: сб. науч. тр. -Новосибирск: Новосиб. инст. инж. водн. трансп., 1991. -С. 34-40.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизельная сажа, присадки к топливу, теплопроводность сажи, электропроводность сажи
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Пушкин Валерий Петрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Долгополов Геннадий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ВОЗМОЖНОСТЬ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ ТИПА ЧН18/22

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»
ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет»

Г.П. Кича, П.П. Кича, Л.А. Семенюк

OPPORTUNITIES FOR INCREASE OF THE LIFE OF ENGINE OIL SERVICE IN SHIP DIESELS TYPE ЧН18/22
Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
Far Eastern state technical fisheries university
G.P. Kicha, P.P. Kicha, L.A. Semenyuk

New scientific and technical solutions are presented that fully improve the efficiency of oil consumption in diesel engines. The ways of reducing the consumption of lubricating oil in internal combustion engines are shown. The assessment of measures to improve the overall efficiency of lubrication systems for shipboard diesel engines is given.

Keywords: economy resource of oils using, motor oil, service life of oil, oil consumption, engine wear

Приведены новые научно-технические решения, комплексно повышающие эффективность маслоиспользования в дизелях. Показаны пути снижения расхода смазочного масла в двигателях внутреннего сгорания. Дана оценка мероприятиям по комплексному повышению эффективности смазочных систем судовых тронковых дизелей.

Расход масла при смене составляет 10-40% его общего потребления [1, 2]. Поэтому мероприятия, направленные на увеличение срока службы моторных масел (ММ), представляют большой интерес. Значительный резерв экономии расхода масла на замену заключен в оптимизации срока его использования. Вопрос определения наработки дизеля до замены масла весьма сложен. Необоснованное завышение срока службы ММ может привести к негативным последствиям: повышенному износу и нагаро- и лакообразованию деталей дизеля. Например, проведенные испытания дизелей типа Ч8,5/11 и 10,5/13 на масле М10В₂(с) показали, что увеличение срока службы более 400 ч приводит к забивке дренажных отверстий и последующему закоксовыванию поршневых колец. Поэтому произвольно увеличивать срок службы масла без оценки влияния этого мероприятия на надежность работы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) не допустимо.

Наиболее эффективный путь увеличения срока службы масла между сменами – применение ММ повышенного качества. Поддержание смазочного масла в дизеле в работоспособном состоянии в определенной степени возможно за счет повышения эффективности его очистки. Комбинированная очистка ММ полнопоточным фильтрованием и частичнопоточным центрифугированием тормозит старение масла и является огромным резервом в повышении его срока службы. Острота проблемы возрастает в связи с ухудшением качества топлива и необходимостью применения масел с зольными присадками для нейтрализации сернистых продуктов его сгорания и предотвращения разложения присадок в высокотемпературной зоне цилиндра-поршневой группы (ЦПГ) при наддуве дизеля.

Необходимо отметить, что с уменьшением угара масла доля его, расходуемая на слив, возрастает. Поэтому оценка влияния угара на срок службы ММ до замены имеют особое значение. С этой целью осуществлено исследование старения ММ в условиях низкого угара для определения возможности увеличения его срока службы. Моторными экспериментами дизелей 2Ч10,5/13 и подтвержденными испытаниями ДВС широкого диапазона форсировки было опровергнуто довольно распространенное мнение о необходимости поддержания угара на высоком уровне для обеспечения работоспособности масла в течение длительного периода.

Действительно, если угар велик, то маслообменные процессы из-за больших доливок свежего масла должны стабилизировать его состояние на довольно высоком уровне. Этот вывод справедлив, если допустить, что интенсивность старения ММ от угара не зависит. Но было доказано, что ограничение до применяемых величин 1,0-1,2 г/(кВт·ч) поступления масла в зону компрессионных колец с образованием на стенке цилиндра масляной пленки, минимально необходимой толщины, снижает одновременно угар масла и скорость его старения. Исключение составляет смолообразование. Подбирая масла с достаточно высоким запасом качества и хорошими моюще-диспергирующими свойствами, можно затормозить про-

цесс нагаро- и лакообразования и обеспечить подвижность компрессионных колец и в целом уплотнение цилиндра в течение длительного времени. Опережающий рост интенсивности старения ММ при увеличении угара выше $2 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ для большинства дизелей указывает на то, что в диапазоне $g_y = 1\text{-}3 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$, как было отмечено ранее, формируются самые благоприятные условия для поддержания полезных и вредных компонентов масла на приемлемом уровне. Угар в указанных пределах создает предпосылки для длительной работы масла без смены, уменьшая его загрязнение нерастворимыми продуктами и истощение присадок (щелочности). Наиболее распространенным является способ определения периодичности смены масла по времени. Такой подход себя не оправдывает, так как изменение условий эксплуатации и режимов нагружения дизеля приводит к ослаблению или интенсификации старения масла. Заранее установленный путем стендовых испытаний срок службы масла уже не будет соответствовать его эксплуатационному значению. Изменение срока службы масла может быть вызвано применением нестандартного топлива, износом деталей ЦПГ.

В отличие от смены масел по параметру «время работы» более правильной и экономичной является смена масла по браковочным показателям. Преимуществом этого метода является учет зависимости качества масла от условий его работы. Однако, применение этого метода ограничено сложностью определения научно обоснованных браковочных параметров. Номенклатура большинства браковочных параметров масла, применяемых в настоящее время, однообразна и одна и та же независимо от конструктивных особенностей и условий эксплуатации дизеля. Существенным образом величина браковочного показателя зависит от форсировки дизеля и качества применяемых горюче-смазочных материалов.

Как правило, в число браковочных входят следующие показатели масла: вязкость, температура вспышки, содержание воды и нерастворимых примесей, кислотность [3]. Большинство показателей является по существу параметрами, по которым можно контролировать создание аварийной обстановки, а не нормальный ход старения ММ в данном дизеле.

Поэтому на первом этапе исследований поставлена задача – определить основные направления старения масла, чтобы выявить показатели, приводящие к нарушению работы дизеля и не позволяющие достичь заданных ТУ ресурсных показателей дизеля. Выявленные моторными испытаниями основные браковочные показатели далее могут быть использованы для определения численных значений в зависимости от условий работы унифицированных масел с учетом применяемых топлив. Для оценки возможности увеличения срока службы ММ в судовых форсированных дизелях средней частоты вращения проведен моторный эксперимент в двигателе 6ЧНСП18/22 ($P_{ен} = 290 \text{ кВт}$, $n = 12,5 \text{ с}^{-1}$). Кроме того, ставилась задача определения перечня браковочных показателей, которые лимитируют срок службы масла в дизелях средней форсировки. Для исследований было выбрано масло М10В₂С, запас качества которого является предельным для долгорботающего режима использования в ДВС с форсировкой $p_{me} = 1 \text{ МПа}$ [2].

Моторный эксперимент вели на маловязком судовом топливе ТМС-Э (ТУ.38.101567-2005) с массовой долей серы 0,4%. Нагрузку двигателя осуществляли по режимам, рекомендованным заводом «Дальдизель» для ускоренных испытаний на моторесурс и имитирующим наиболее тяжелые условия работы его при эксплуатации на судах.

Целью испытаний было определение направлений старения ММ, лимитирующего использование его без смены, а также установление конкретного срока его службы. Суть методики моторного эксперимента заключалась в определении состояния масла через 50 ч с замером скорости изнашивания и интенсивности нагарообразования за каждый этап (250 ч) его работы. Для этого через данный промежуток времени 1, 3, 4 и 6 цилиндры двигателя вскрывали. Цилиндры 2 и 5 являлись контрольными и в течение испытаний от нагаров не очищались. Таким образом, определяли интенсивность и динамику нагарообразования по мере срабатывания присадок и старения масла.

Комплектация ЦПГ соответствовала угару масла $1,5 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$. Основная цель испытаний – доказать, что увеличение срока службы масла М10В₂(с) в жестких условиях работы возможно, и он может превышать установленный норматив 500 ч. Кроме того, важно было определить, как повлияет увеличение срока службы масла при низком угаре на основные направления его старения, скорость изнашивания деталей дизеля и нагарообразование на поршнях. Предусматривалось зафиксировать состояние ММ, при котором интенсифицируется изнашивание и нагарообразование в дизеле.

Основные направления и интенсивность старения масла М10В₂(с), а также состояние

дизеля определяли по методикам ЦНИДИ [4]. Была поставлена задача – исследовать состояние масла, при котором интенсифицируются процессы изнашивания и нагарообразования в дизеле и дальнейшее увеличение срока службы масла нерационально потому, что может привести к снижению надежности работы дизеля и даже к его аварийному состоянию.

Анализ кинетики старения ММ в дизеле 6ЧН18/22 по показателю кислотности K и вязкости ν (рисунок 1) показывает, что в нем идет интенсивное окисление и крекинг углеводов. Показатели K и ν с увеличением срока службы масла растут [5]. Их рост сопровождается падением щелочности \mathcal{W} масла, что указывает на интенсивное срабатывание присадок. Падение \mathcal{W} к моменту отработки 1,5 тыс. ч до уровня 1 мг КОН/г при кислотности 2,5 мг КОН/г указывает на возможность интенсификации коррозионных процессов в дизеле. К концу испытаний (2 тыс. ч) кислотность K масла равнялась 2,8 мг КОН/г, рН – 3,2. При столь низком водородном показателе коррозионная активность отработанного масла высока. После отработки маслом 1,5 тыс. ч возможна коррозия вкладышей подшипников и других деталей, так как по существующим нормам падение рН ниже 4,5 недопустимо.

Срабатывание присадок сказалось на диспергирующих свойствах масла. Показатель дисперсионной среды, определяемый методом бумажной хроматографии, уменьшился к концу испытаний со значений 0,62 до 0,2. Начиная с 1,3 тыс. ч работы диффузионная зона масляного пятна просматривалась плохо. Срабатывание присадки исследовалось не только по падению щелочности, но и по зольности Z_{ϕ} фугата. Этот показатель в процессе работы масла не стабилизировался и после 1,5 тыс. ч работы понизился до критического значения 0,1%, при котором диспергирующая способность масла уже не способна поддерживать нерастворимые продукты во взвешенном состоянии и возможна их коагуляция.

Анализ процесса коллоидного старения осуществлялся по результатам оптической микроскопии. Отмечено, что по мере увеличения срока службы масла состояние дисперсной фазы нерастворимых загрязнений ухудшается. Так, в начале работы условный диаметр d самой многочисленной группы частиц составлял 0,4-0,5 мкм, а в последней – 1,8 мкм. Наибольшее увеличение размеров нерастворимых продуктов наблюдается после 1,5 тыс. ч работы (рисунок).

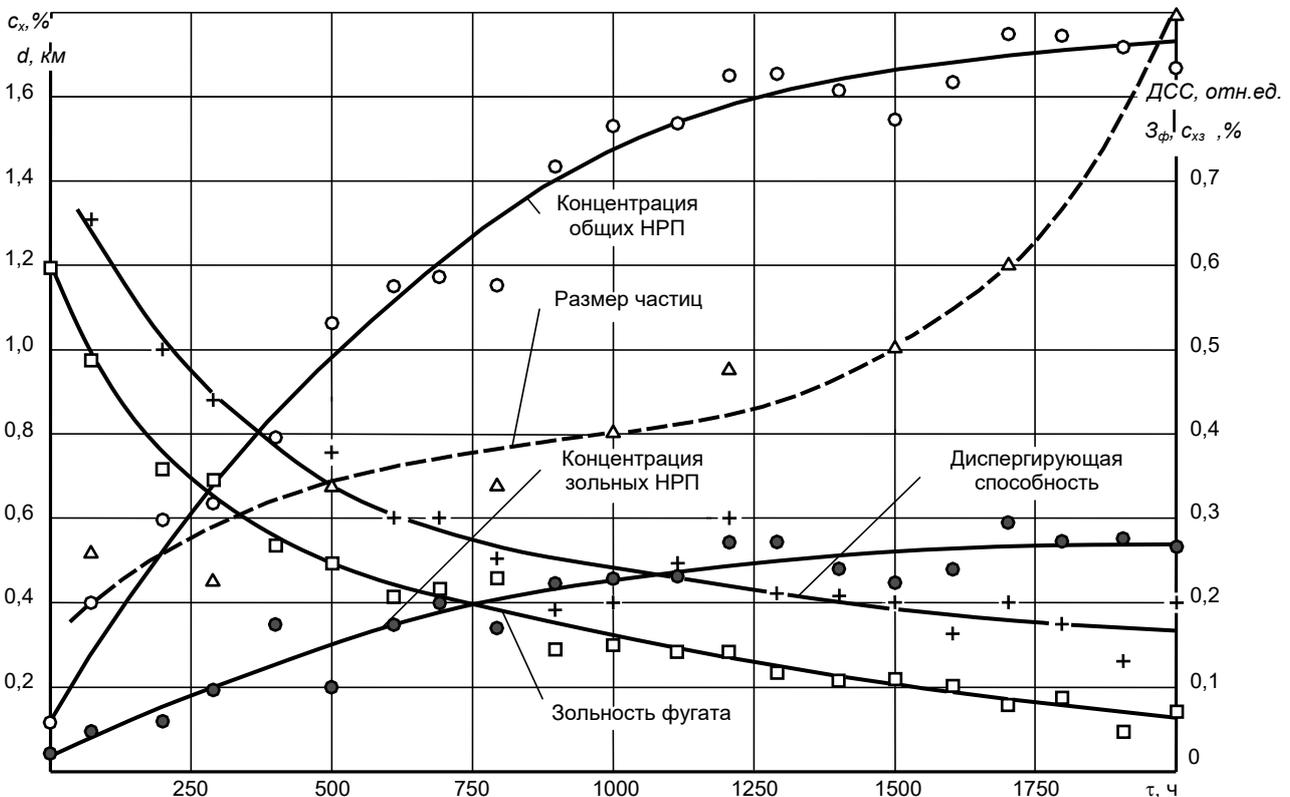


Рисунок – Кинетика процесса старения масла М10В2(с) в дизеле 6ЧН18/22

Если на ранних этапах испытаний флоккуляции частиц нерастворимой фазы загрязнений не происходило, то в некоторых пробах седьмого и восьмого этапов микроскопировани-

ем зафиксировано образование мицелл, что свидетельствует о неустойчивой дисперсной фазе в период работы масла от 1,5 до 2 тыс. ч и о потере им способности диспергировать нерастворимые примеси.

Наблюдение за накоплением в масле нерастворимых примесей c_x , c_{xz} (общие и зольные) (рисунок 1) показало, что данный процесс идет по экспоненциальной зависимости, причем концентрация общих НРП, определяемых центрифугированием, после 1,5 тыс. ч работы стабилизируется в диапазоне 1,62-1,73%, зольных - на уровне 0,27%. Такая концентрация НРП для дизеля не опасна и интенсифицировать изнашивание деталей ЦПГ не может.

Наибольшее изнашивание происходило на этапах 1 и 2 (таблица). В первые 500 ч работы износ по сравнению со средним его значением за весь период испытаний был выше на 30-38%. Объяснение такому явлению можно дать, допустив, что обкатка деталей дизеля продолжалась, несмотря на то, что она была проведена до испытаний. По всей вероятности, 200 ч для приработки трибосопряжений недостаточно, хотя все параметры рабочего процесса к концу обкатки дизеля стабилизировались.

Таблица Показатели старения масла, износ нагаро- и лакообразования в дизеле 6Ч18/22 при увеличении срока службы масла М10В₂(с)

Параметр оценки	Этапы испытаний								Средний за этап
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
	0-250	250-500	500-750	750-1000	1000-1250	1250-1500	1500-1750	1750-2000	
Скорость угара масла, г/(кВт·ч)	1,60	1,45	1,41	1,52	1,49	1,39	1,33	1,43	1,45
Скорость загрязнения масла нерастворимыми продуктами, г/ч	3,3	3,5	3,7	3,9	3,8	3,5	3,7	3,8	3,65
Износ деталей:									
верхнее компрессионное кольцо, мг	182	226	193	168	137	123	142	151	165
%	102	133	113	102	81	72	84	89	100
маслосъемное кольцо, мг	724	860	642	656	531	617	624	648	663
%	109	130	97	99	95	93	94	98	100
комплект поршневых колец, мг	1325	1724	1596	1319	1248	1126	1209	1402	1369
%	97	126	117	96	91	82	88	102	100
цилиндровая втулка, мкм	16,2	18,9	17,4	16,0	15,2	12,6	13,7	13,9	15,5
%	105	122	112	103	98	81	88	90	100
вкладыши подшипника, мг	19,4	16,7	14,5	13,8	12,3	11,6	12,1	12,3	14,1
%	138	122	103	98	87	82	86	87	100
Нагаро- и лакообразование на поршнях, балл:									
над верхним кольцом;	1,0	1,1	1,2	0,7	0,6	1,1	1,4	1,3	1,05
в канавках;	0,8	0,9	0,7	1,0	0,9	0,8	1,6	2,0	1,09
на юбке;	0,74	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	1,2	1,7	0,87
общая оценка, балл	4,4	4,7	4,8	4,5	4,3	4,6	6,6	7,0	5,1
%	86	92	94	88	84	90	130	138	100
Подвижность колец, балл	0	0	0	0	0	0,2	0,7	1,6	0,3

При увеличении срока службы масла выявлена тенденция к понижению *И*. Минимум износа за 250 ч работы наблюдался на шестом этапе испытаний. После 1,5 тыс. ч работы снова наблюдается ухудшение противоизносных свойств масла. Подводя итоги износных испытаний, отмечаем благоприятное влияние увеличения срока службы масла на показатель *И*. Наволакивания металла, задиров и натиров на деталях ЦПГ не наблюдалось.

По влиянию на нагаро- и лакообразование в дизеле выявлена тенденция интенсификации этого процесса после отработки маслом 1,5 тыс. ч (таблица). Если на этапах 1-6 за 250 ч работы состояние нагара на поршнях оценивалось – в 4,3-4,8 балла, то на последних двух этапах – 6,6-6,7 баллов. Начиная с шестого этапа, наблюдалось частичное защемление верхнего компрессионного кольца, на последнем – и других колец.

Процесс нагаро- и лакообразования хорошо коррелирует со старением масла [6]. Начавшаяся было стабилизация нагаров на неочищаемых поршнях 2 и 5 в период 1-1,25 тыс. ч работы далее была нарушена, что вызвано ухудшением состояния масла и потерей им моюще-диспергирующих свойств. После 1,5 тыс. ч работы антинагарные свойства ММ столь низки, что вызывают забивание поршневых канавок углеродистыми отложениями, и, как следствие, это приводит к утрате кольцами подвижности.

Интенсивность нагаро- и лакообразования H после обработки маслом 1,5 тыс. ч, оказалась высокой. В период 1,5-2 тыс. ч износ ЦПГ I_n превышало среднее значение в 1,3-1,8 раза. Такая тенденция роста I_n приводит к перегибу зависимости $H(\tau)$ в точке с координатами $\tau = 1,25$ тыс. ч и $H = 8,4$ балла общей оценки нагаров и 3,7 балла – по поршневым канавкам.

Выводы. Показано, что процессом, лимитирующим срок службы масла М10В₂(с) в дизелях типа ЧН18/22, является нагаро- и лакообразование на поршнях, коксование и потеря подвижности компрессионных и маслосъемных колец. При угаре 1,5 г/(кВт·ч) процесс интенсифицируется после обработки маслом без смены 1,5 тыс. ч, когда оно теряет моудиспергирующие свойства. Между этим явлением и состоянием масла существует зависимость, которая выявлена проведенным экспериментом. Процесс нагаро- и лакообразования усиливается, когда присадок в активной форме содержится менее 1%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кича, Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях: монография / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин. -Владивосток: изд. Мор. гос. ун-та, 2011. -372 с.
- 2 Кича, П.П. Повышение срока службы масла в судовых дизелях типа ЧН18/22 // -Рыбное хозяйство. -1980. -№2. -С. 45-51.
- 3 Кича, Г.П. Повышение эффективности тонкой очистки моторного масла в судовых тронковых дизелях комбинированным фильтрованием: монография / Г.П. Кича, Н.Н. Тарашан, А.В. Надежкин. -Владивосток: Мор. гос. унив., 2015. -175 с.
- 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. Системное решение проблемы ресурсосберегающего маслоиспользования в судовых энергетических установках / Г.П. Кича, А.В. Надежкин, Г.А. Гаук // Матер. одиннадцатой междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы транспорта Дальнего Востока», 2-4 окт. 2015 г. -Владивосток: Мор. гос. унив., 2015. -С. 180-182.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ресурсосберегающее маслоиспользование, моторное масло, срок службы масла, расход масла, изнашивание двигателя

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кича Геннадий Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
Кича Павел Петрович, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ДАЛЬРЫБВТУЗ»
Семенюк Людмила Анатольевна, аспирант ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
690087, г.Владивосток, ул.Луговая, 52Б, ФГБОУ ВПО «ДАЛЬРЫБВТУЗ»

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ПРЕДИЗОЛИРОВАННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ОБЪЕКТАХ СТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

С.В. Чичерин

ADDRESSING THE PROBLEMS OF PREINSULATED BONDED PIPES ON HEAT-AND-POWER MACHINERY
Omsk state transport university
S.V. Chicherin

We present energy saving measures on objects of the heat-and-power machinery, Siberian railway, including installation of pre-insulated bounded pipes with a leak detection system. Should a leak develop and the insulation become wet the leak detection system sounds an alarm.

Keywords: heat supply, heating network, control, conductor, operational remote, dispatching

Одна из мер энергосбережения на железнодорожном транспорте – прокладка трубопроводов в пенополиуретановой (ППУ) изоляции со встроенной системой оперативного дистанционного контроля (ОДК). Предлагается: запретить использование трубы бывшей в употреблении; повсеместно распространить схему с использованием коаксиальных кабелей и другое.

Согласно проекту Энергетической стратегии (ЭС-2030) перестройка структуры экономики и технологические меры экономии энергии уменьшат энергоёмкость ВВП в 2,1-2,3 раза к 2030 г. по отношению к уровню 2005 г. При этом до половины прогнозируемого роста ВВП может быть получено за счёт структурной перестройки экономики без увеличения затрат энергии, а прирост ещё в 20% даст технологическое энергосбережение.

Одним из приоритетных направлений является дальнейшее развитие потенциала ресурсосбережения железнодорожного транспорта. Данный потенциал складывается из совершенствования системы менеджмента, на основе мотивации труда в направлении эффективного использования материальных, трудовых и финансовых ресурсов, экономически обоснованного применения ресурсосберегающих технологий и техники, а более всего – активного стимулирования инвестиционной и инновационной деятельности железных дорог. Западно-Сибирская дирекция по тепловодоснабжению (структурное подразделение Центральной дирекции по тепловодоснабжению, филиала ОАО «РЖД») эксплуатирует 106 котельных и 85,6 км тепловых сетей [1]. В рамках реализации инвестиционной программы «Внедрение ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте» одной из мер может быть прокладка трубопроводов в пенополиуретановой (ППУ) изоляции. Важным преимуществом теплосетей, построенных на основе предизолированных трубопроводов с ППУ изоляцией, является наличие системы оперативного дистанционного контроля (ОДК), позволяющей обнаруживать места увлажнения изоляции [2]. Объект настоящего исследования – система ОДК, включающая в себя [3]: проводники-индикаторы в теплоизоляционном слое трубопроводов, клеммные коробки, кабели для соединения проводников-индикаторов, стационарный или переносной детектор повреждений, локатор повреждений.

Применяющийся в настоящее время в качестве соединителей проводников-индикаторов кабель NYM полностью исключает применение стационарных специализированных локаторов повреждений и не позволяет рассматривать тепловую сеть в качестве объекта автоматизации и диспетчеризации, оставляя значительные расходы на обходчиков и обслуживающий персонал. Исходя из отсутствия связи диаметра участка тепловой сети с его повреждаемостью [4] и значительным удалением ремонтно-эксплуатационных баз на объектах стационарной теплоэнергетики, именно диспетчеризация протяженных систем – первоочередная задача. Наиболее эффективными в этом отношении являются системы ОДК, основанные на применении коаксиальных кабелей с согласующими устройствами [5].

Предлагаемая система построения СОДК уже была реализована на некоторых тепловых сетях г. Санкт-Петербурга и, в качестве эксперимента (пилотного проекта), эта система реализована и на сетях г. Москвы [6].

Для контроля расположения (трассы) проводников системы ОДК в изделии после заливки компонентов ППУ требуется специализированное и довольно дорогое оборудование. Как и для проведения других приемо-сдаточных, периодических и типовых испытаний, этот вид контроля требует не только существенных затрат, особенно на трубах большого диаметра, но и высокой квалификации персонала, проводящего испытания [7].

Очевидно, что нормальная работа системы ОДК невозможна без обеспечения надежности и энергоэффективности всей конструкции. В настоящее время некоторые производители предварительно изолированных труб представляют продукцию, стоимость которой существенно ниже, чем на других предприятиях. Это связано с применением стальных труб, бывших в употреблении в нефтегазовой промышленности. Их дальнейшее использование в данном секторе невозможно по причине окончания расчетного срока эксплуатации и отсутствия гарантии их надежности. Такие стальные трубы проходят поверхностную очистку и позиционируются как новые, при этом её действительная стоимость составляет не более 50-60% от стоимости новой [8].

В связи с вышеперечисленным предлагается:

- среди пунктов 5.1.1-5.1.3 [9], предъявляющих требования к стальной трубе и фасонным изделиям, включить запрет на использование трубы бывшей в употреблении;
- требовать от отечественных производителей: покрытия убытков, включая строительные расходы, связанных с качеством материалов; гарантию не только на производимые ими материалы, но и на комплектующие; подтверждения качества независимыми организациями, как это делают западно-европейские производители [10];
- для контроля качества теплоизолированных трубопроводов использовать мобильные цифровые комплексы, например, «КОЛИБРИ-50ЦФ» [11];
- повсеместно распространить схему построения системы ОДК с использованием коаксиальных кабелей.

Реализация приведенных мер позволит уйти от печальной ситуации, когда более 60% дефектов на трубопроводах в ППУ изоляции — это дефекты стыковых соединений и системы ОДК [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сулима, А.А. Внедрение ресурсосберегающих технологий в западно-сибирской дирекции по тепловодоснабжению / А.А. Сулима // Повышение энергоэффективности объектов энергетики и систем теплоснабжения: Матер. всероссийской научн.-техн. конф. с межд. участием. -Омск: Омск. гос. унив. путей сообщ., 2017. -С. 7-12.
- 2 Поляков, В.А. Системы дистанционного контроля состояния изоляции в тепловых сетях бесканальной прокладки / В.А. Поляков // Тепловые сети. Современные практические решения: тр. Первой науч.-практ. конф. -М.: Новости теплоснабжения, 2005.
- 3 СП 41-105-2002. Проектирование и строительство тепловых сетей бесканальной прокладки из стальных труб с индустриальной тепловой изоляцией из ППУ в ПЭ оболочке.
- 4 Чичерин, С.В. Влияние диаметра трубопроводов тепловых сетей на их надежность / С.В. Чичерин, В.М. Лебедев, С.В. Глухов // Повышение энергоэффективности объектов энергетики и систем теплоснабжения: Матер. всероссийской научн.-техн. конф. с межд. участием. -Омск: Омск. гос. унив. путей сообщ., 2017. -С. 47-52.
- 5 Александров, А.А. Оперативный дистанционный контроль трубопроводов ППУ - эффективное средство контроля или бесполезное приложение? / А.А. Александров, В.Л. Переверзев // -Новости теплоснабжения. -2007. -№2(78). -С. 36-41.
- 6 Лейтман, А.И. Опыт эксплуатации труб в индустриальной ППУ изоляции / А.И. Лейтман // -Новости теплоснабжения. -2016. -№3(187). -С. 33-36.
- 7 Ковалевский, В.Б. Качество и параметры труб в ППУ изоляции для тепловых сетей / В.Б. Ковалевский // Тепловые сети. Современные практические решения: тр. Первой науч.-практ. конф. -М.: Новости теплоснабжения, 2005.
- 8 Павлюк, С.К. Опасность применения труб, бывших в использовании, при производстве труб ППУ изоляции / С.К. Павлюк, В.Г. Лупачев, А.В. Лупачев, О.И. Степков // -Новости теплоснабжения. -2010. -№11(123). -С. 25-29.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *теплоснабжение, тепловые сети, контроль, проводник, оперативный дистанционный, диспетчеризация*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Чичерин Станислав Викторович, аспирант ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

ЗАЩИТА ОТ КАВИТАЦИОННОГО И ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПЛАЗМЕННО-НАПЫЛЕННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.О. Токарев, В.И. Кузьмин, Е.С. Федотова, Я.К. Малыгина, А.И. Сохранич

PROTECTION OF CAVITATIONAL AND HYDROABRASIVE WEARING OF THE SURFACE BY PLASMA-SURFACE COATINGS

Siberian state university of water transport

A.O. Tokarev, V.I. Kuzmin, E.S. Fedotova, Ya.K. Malygina, A.I. Sokhranich

View influence of parameters of dusty plasma flow on the structure of metal powder coatings. It is shown that coating defects such as pores and discontinuities, delamination at the contact surface, associated with the heterogeneity of dusty flow. To improve the quality of coatings produced by plasma spraying air, improved design of the plasma torch. The device interelectrode inserts and ring powder injection allows to significantly increase the efficiency of heating the particles in the quasi-plasma stream. As a result received sprayed coating having a porosity of less than 5%. This increases the hardness of the coating layer and eliminates of technologic process of inflection wear-resistant coating reflow operation.

Keywords: plasma spraying, annular injection, self-fluxing powders, wear-resistant coating, cavitation and hydroabrasive wear

Рассмотрено влияние режимных параметров плазменного напыления, определяемых конструктивными особенностями плазмотронов, на структуру порошковых металлических покрытий. Показано, что дефекты покрытия, такие как поры, несплошности, отслоения по контактной поверхности, связаны с неоднородностью двухфазного потока порошка в транспортирующем газе. Для улучшения качества покрытий, получаемых воздушно-плазменным напылением, усовершенствована конструкция плазмотрона. Наличие секционированной межэлектродной вставки и узла кольцевой инжекции порошка позволяет существенно увеличить эффективность нагрева частиц в потоке плазмы. Добавка пропана в транспортирующий и фокусирующий газы (воздух) дополнительно повышает эффективность работы плазмотрона. В результате удаётся напылять плотные покрытия с высокими механическими свойствами. Это позволяет исключить из технологического процесса нанесения износостойких покрытий операцию оплавления. Метод воздушно-плазменного напыления порошковых материалов в качестве защитных покрытий прошёл успешное опробование при упрочнении лопастей гребного винта теплохода пр.КС-101Д.

В системе технической эксплуатации современных машин и механизмов существует две тенденции: ремонт изношенных деталей методами восстановления и упрочнения повреждённых поверхностей и метод замены отдельных деталей, узлов и агрегатов. В случае крупногабаритных, сложных в изготовлении деталей, таких как судовые гребные валы и винты, баллеры, коленчатые валы судовых дизелей, ковши земснарядов и грейферов, другие детали судов технического флота, а также бульдозерные, грейдерные отвалы, зубья ковшей экскаваторов, другие многочисленные детали строительной, дорожной, карьерной, сельскохозяйственной техники предпочтение отдаётся ремонтно-восстановительным работам.

Одним из эффективных направлений развития технологии восстановления и упрочнения изношенных и повреждённых поверхностей деталей машин и элементов конструкций является напыление защитных и износостойких покрытий порошковыми износостойкими сплавами.

Среди прочих методов восстановления изношенных поверхностей для защиты тяжело нагруженных была разработана технология плазменного напыления самофлюсующихся покрытий (системы Ni-Cr-B-Si) с последующим газопламенным оплавлением [1].

Большое внимание при выборе технологии и параметров напыления уделялось получаемой структуре покрытия, особенно в зоне его взаимодействия с основой, а также пористости нанесённого слоя. Именно эти показатели во многом определяют служебные характеристики деталей с упрочнённой поверхностью: износостойкость, жаростойкость, контактную выносливость и др. Для большинства применяемых технологий газотермического порошкового напыления пористость полученного покрытия составляет от 5 до 15%. Причём, контактный слой является зоной с наибольшим количеством дефектов. Это связано с технологией напыления и с особенностью взаимодействия частиц, транспортируемых плазменным потоком, с поверхностью деталей.

Технологический процесс нанесения металлического самофлюсующегося сплава при газотермическом напылении можно представить схемой на рисунке 1, а процесс взаимодействия частиц запылённого потока с основой – схемой на рисунке 2.

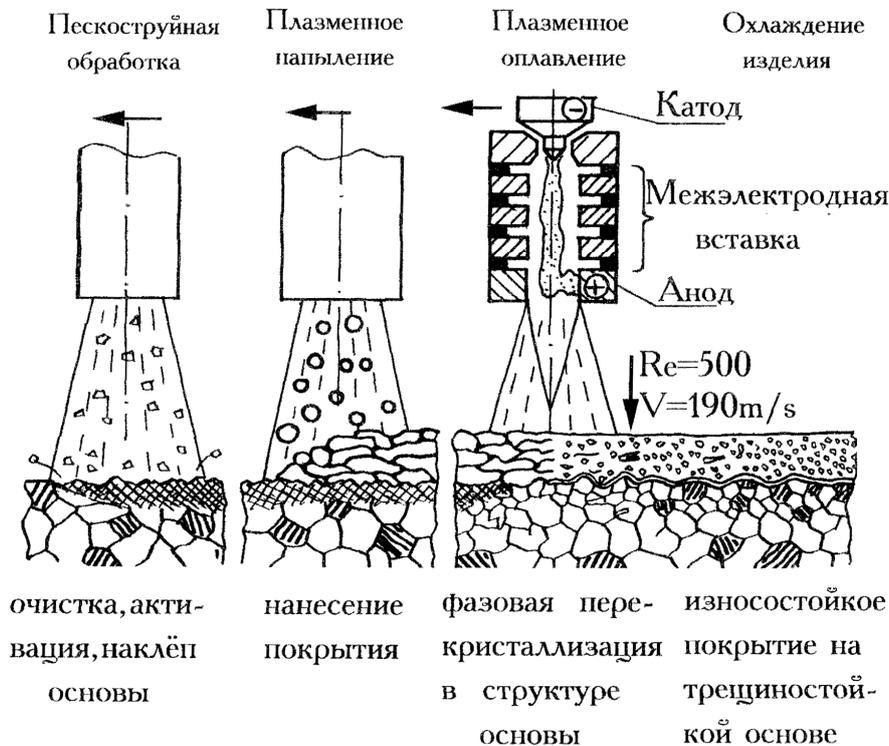


Рисунок 1 – Технологическая схема процесса газотермического напыления металлических самофлюсующихся сплавов

Для обеспечения качественного сцепления покрытия с основным металлом необходимо активирование обрабатываемой поверхности, получение развитого микрорельефа, удаления оксидной плёнки. Для этого непосредственно перед напылением производится нанесение «рваной резьбы» [2], иглофрезерование [3], пескоструйная, дробеструйная или иные подобные обработки для её активации [4].

Процессу напыления предшествует операция предварительного подогрева основы, производящаяся напылителем без подачи порошка.

При газотермическом напылении с применением серийных западных и отечественные установок плазменного напыления распределение температуры и скорости частиц металлического порошка по сечению потока не равномерны [5, 6]. Вследствие этого транспортируемые плазменным потоком частицы взаимодействуют с основой, находясь в различных сложных агрегатных состояниях [7]. Об агрегатном состоянии частиц потока и о характере их взаимодействия с основой судили по структуре частиц покрытия.

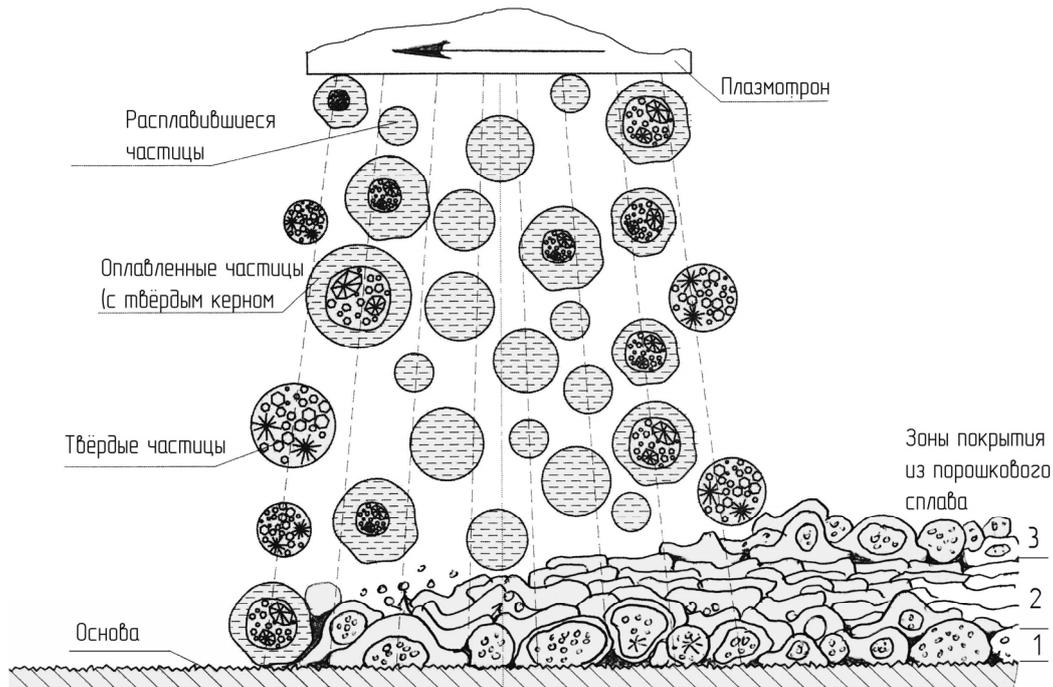
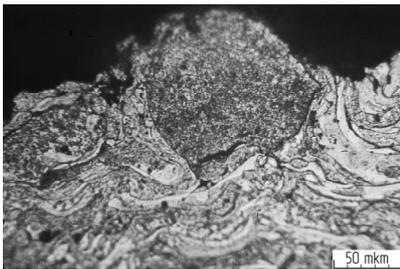


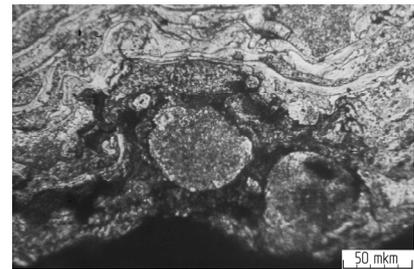
Рисунок 2 – Схема процесса формирования металлического порошкового покрытия при газотермическом напылении: 1-зона сцепления с основой; 2-средняя зона; 3-внешняя зона покрытия (термоокислительное травление)



а)



б)



в)

Рисунок 3 – Микроструктура трёх характерных зон процесса формирования металлического порошкового покрытия при газотермическом напылении: а)-зона сцепления с основой; б)-средняя зона; в)-внешняя зона покрытия (термоокислительное травление)

Микроструктура покрытия неоднородна по своему строению (рисунок 3). Во внешних областях потока располагаются преимущественно частицы, находящиеся в твёрдом состоянии и частицы с оплавленной поверхностью (с твёрдым ядром). Эти частицы имеют твёрдую сердцевину с выделениями мелких наследственных первичных карбоборидов размером 0,5-1,0 мкм. При взаимодействии с предварительно активированной основой первые прибывающие частицы внешней зоны потока закрепляются на ней, благодаря механическому зацеплению, заклиниванию, удерживаются слабыми невалентными силами взаимодействия (силами Ван-дер-Ваальса), химическими силами связи и на отдельных участках происходит сваривание их с основой [8]. Твёрдые частицы, сохранившие исходное строение, участвуют в формировании контактного слоя покрытия, будучи захваченными жидкими расплавленными частицами. С основой и между собой частицы свариваются лишь на отдельных участках поверхности там, где при соударении разрушается их оксидная плёнка. На относительно холодной основе частицы быстро охлаждаются и затвердевают. В дальнейшем напорное давление потока не в состоянии «закрыть» несплошности между частицами за счёт их деформирования. Пористость в контактном слое (см. рисунок 3а) составляет 16-18%. Поры имеют различную форму: разветвленные, с острыми краями, скруглённые, сжатые в плоскости покрытия. Характер связей частиц в контактной зоне покрытия обуславливает его низкую адгезионную и когезионную прочность, которая при определении её штифтовым методом составила 30-40 МПа.

Среднее сечение потока содержит частицы, находящиеся большей частью в расплав-

ленном состоянии. Эти частицы, формирующие основной слой покрытия (см. рисунок 3б) при кристаллизации на обрабатываемой поверхности получают структуру твёрдого раствора, что обусловлено достаточно высокой скоростью их охлаждения на основе. Отдельные частицы имеют выделения вторичной дисперсной твёрдой фазы. Очевидно, это следствие теплообмена с расплавленными частицами потока. Частицы со структурой твёрдого раствора имеют наиболее высокую микротвёрдость (H_{20} 14-18 ГПа). Это объясняется структурными изменениями, происходящими во время их закалки из жидкого состояния. При выделении из твёрдого раствора вторичных частиц его микротвёрдость снижается до H_{20} 6,6-9,2 ГПа.

Внешние слои покрытия (см. рисунок 3в) формируются частицами тыльной периферийной части потока, обладающими, как и частицы фронтальной части, меньшей скоростью и температурой. Поверхность покрытия не подвергается воздействию «напорного давления» потока. Частицы с невысокой скоростью закрепляются на активированных разогретых участках с развитым рельефом, образуя рыхлую шероховатую поверхность. Здесь наблюдаются как частицы с формой близкой к сферической, так и деформированные частицы с признаками подплавления.

При наращивании толщины покрытия более 300 мкм под действием увеличивающихся внутренних напряжений появляются несплошности между основой и покрытием.

Таким образом, неоднородность полей температуры и скорости в потоке плазмы способствует одновременному существованию в его сечении частиц, имеющих значительные отличия по тепловой и кинетической энергии и даже находящихся в различных агрегатных состояниях. Это, а также наличие на поверхности частиц оксидных плёнок, выделение адсорбированного частицами газа приводит к пористости покрытия (14-18%), то есть снижает качество покрытий при плазменном напылении.

Для повышения механических свойств покрытия, снижения пористости и прочного сцепления с основой производится его дополнительная термическая обработка. Для оплавления покрытий применяется: объёмный нагрев в печах и соляных ваннах [3], газопламенный и плазменный нагрев [9], обработка токами высокой частоты [1], электроконтактная [10], лазерная обработка [11]. В технологическом цикле плазменного напыления целесообразно оплавление напылённого покрытия плазменным методом [2, 4]. Однако это, как и любая другая дополнительная обработка, усложняет и удорожает технологию. По сложности и продолжительности процесса, операция оплавления покрытия на несколько порядков превышает операцию его плазменного напыления. Кроме того, термический цикл этой дополнительной обработки покрытия при использовании источников объёмного разогрева детали приводит к изменению структуры и свойств основного материала детали, а при использовании концентрированных источников энергии требует весьма точной регулировки параметров.

Материалы и методики исследований. В стремлении повысить качество напылённых покрытий усовершенствована конструкция плазмотронов.

Работы по совершенствованию плазмотронов (генераторов термической плазмы) для плазменного напыления порошковых материалов, проводимые в ИТПМ СО РАН совместно со СГУВТ, позволили создать новое поколение плазменного оборудования для нанесения покрытий, которое позволяет формировать покрытия с уникальными свойствами, не требующими операции их оплавления.

Разработанный плазмотрон «ПНК-50» выполнен по линейной схеме с секционированной межэлектродной вставкой (МЭВ), которая обеспечивает, по сравнению с плазмотронами с самоустанавливающейся длиной дуги, существенно большее рабочее напряжение, хорошую осевую симметрию плазменной струи и минимальный уровень пульсаций его параметров (рисунок 4).

Газоразрядная камера плазмотрона представляет собой расширяющийся от катода к аноду канал, набранный из электрически изолированных друг от друга и от электродов секций МЭВ. Межэлектродная вставка позволяет не только фиксировать длину дугового разряда в канале плазмотрона, но и менять длину дуги, а соответственно и рабочее напряжение за счёт варьирования количества секций МЭВ.

Регулировка параметров работы плазмотрона позволяет вести процесс в турбулентном, переходном и ламинарном режимах истечения плазменных струй, что даёт возможность с высокой эффективностью напылять покрытия из любых порошковых материалов (металлических, керамических, композиционных и т.д.).

Существенной модернизацией плазмотрона явилась разработка узла кольцевого ввода

с газодинамической фокусировкой порошковых материалов. Серийные западные и отечественные установки плазменного напыления укомплектованы плазмотронами с точечным вводом обрабатываемого материала [12, 13].

Узел кольцевого ввода с газодинамической фокусировкой обеспечивает получение осесимметричного высокотемпературного гетерогенного потока.

Дополнительно повысить эффективность работы плазмотрона позволила также небольшая добавка пропана (в смеси с воздухом) перед анодом (завеса анода). Пропан связывает кислород в пограничном слое плазменного потока и, таким образом, резко снижает эрозию анода, так как основной механизм эрозии при работе на воздухе - окислительный. Снижение эрозии - это не только повышенный ресурс работы плазмотрона, но и получение чистой плазмы (практически без продуктов эрозии).

Добавка пропана в транспортирующий и фокусирующий газы (воздух) так же обусловлена желанием связать кислород и, таким образом, снизить окисление порошка. Кроме того, узел кольцевого ввода порошка с газодинамической фокусировкой требует больших расходов транспортирующего и фокусирующего воздуха, а выделение энергии при сгорании пропана исключает существенное захлаживание плазмы.

Осесимметричный радиально-сходящийся поток частиц непосредственно за зоной анодной привязки дугового разряда позволяет существенно увеличить эффективность взаимодействия потока плазмы с порошковым материалом. Это значительно повысило качество и производительность обработки материала. Использование узла кольцевого ввода позволяет увеличить, по сравнению с односторонним точечным, эффективность нагрева частиц и максимальную производительность обработки более чем на порядок.

Перед напылением поверхность образцов подверглась пескоструйной обработке. Дистанция напыления составляла 170 мм. В качестве плазмообразующего газа использовался воздух, в качестве транспортирующего, фокусирующего и защитного (завеса анода) газов использовалась смесь воздуха и пропан-бутана. Расход плазмообразующего газа составлял 3 г/с, защитного газа – 0,45 г/с, расход как транспортирующего, так и фокусирующего газов составлял 0,9 г/с.

Для снятия внутренних напряжений, возникающих в покрытиях после напыления, выполняли отжиг при температуре 350 °С в течение 4 ч.

Анализ температур нагрева частиц в плазменной струе был выполнен при помощи аппаратуры и методики, разработанной в ИТПМ СО РАН [14].

Металлографические исследования полученных покрытий проводились на микроскопе МИМ-8М. Микротвёрдость частиц покрытия измеряли на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке на индентор 20 г.

Результаты и обсуждение. Лабораторные и производственные испытания плазмотрона, укомплектованного узлом кольцевого ввода, показали существенное увеличение эффективности нагрева и ускорения частиц порошковых материалов, что существенно подняло качество напыляемых покрытий [15].

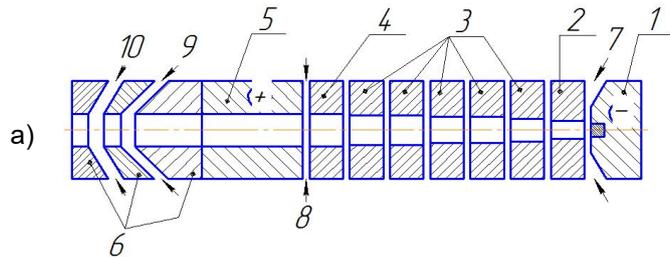


Рисунок 4 – Схема (а) и внешний вид плазмотрона «ПНК-50» (б): 1-катод; 2-пусковая секция; 3-секции межэлектродной вставки; 4-переходная секция; 5-анод; 6-узел кольцевого ввода порошка с газодинамической фокусировкой; 7-плазмообразующий газ; 8-защитный газ; 9-частицы порошка с транспортирующим газом; 10-фокусирующий газ

Толщина напылённых покрытий составляла 350-400 мкм. Пористость напылённых покрытий определяли микроскопическим методом на микрошлифах в поперечном сечении покрытия после травления в нитале. Установлено, что при токе 170 А пористость составляет 5-6%. Улучшается строение зоны сцепления покрытия с основой – строение частиц становится более однородным (рисунок 5).

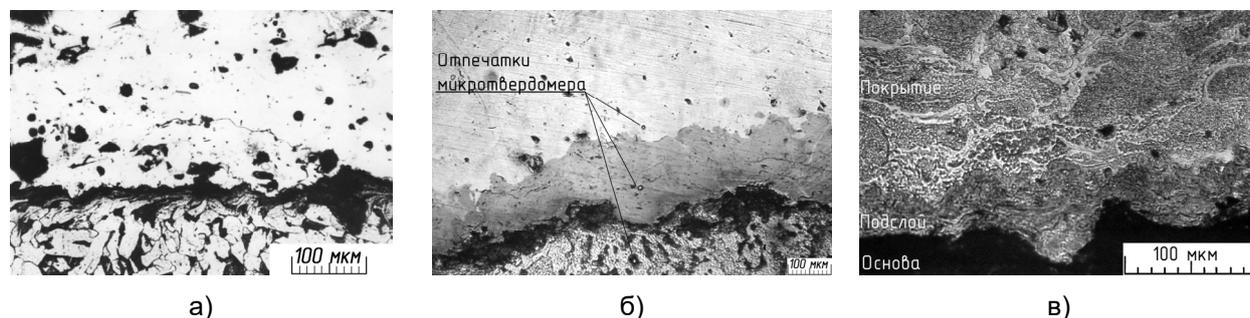


Рисунок 5 – Микроструктура Ni-Cr-B-Si-C покрытия, полученного при точечной и радиально-кольцевой инжекции порошка, ток дуги – 170 А: а)-точечная инжекция (травление 5%HNO₃); б)-радиально-кольцевая инжекция порошка (травление 5%HNO₃); в)- радиально-кольцевая инжекция порошка (термоокислительное травление)

Реализуемые на разработанном плазмотроне нового поколения режимы напыления позволили увеличить твёрдость получаемых покрытий. При тех же средних значениях микротвердости отдельных частиц, что и в покрытиях, напылённых серийным отечественным и зарубежным плазменным оборудованием, твёрдость покрытия, напылённого с использованием распределённого кольцевого ввода порошка увеличилась до HRC 55-60. Это является следствием снижения пористости, улучшения сцепления покрытия с основой и частиц между собой, а также формированием субмелкозернистой структуры частиц при растекании и кристаллизации [19].

Существенное повышение качества напыляемых покрытий позволило начать напыление защитных покрытий на рабочие поверхности деталей различных машин и механизмов, исключая операцию последующего оплавления.

На базе учебно-научно-производственного центра (УНПЦ) «Плазмотермические технологии» СГУВТ были выполнены отработка режимов и нанесение защитных покрытий на лопасти гребного винта теплохода пр.КС-101Д методом воздушно-плазменного напыления порошковых материалов

Для защиты от коррозионного, гидроабразивного и кавитационного износов были выбраны экспериментальные порошковые материалы для напыления покрытий.

На каждую лопасть гребного винта (4 лопасти) методом воздушно-плазменного напыления были нанесены защитные покрытия из порошков различных сплавов, а именно:

- лопасть №1 – покрытие из самофлюсующегося сплава системы Ni-Cr-B-Si-C;
- лопасть №2 – интерметаллидное Ni-Ti покрытие;
- лопасть №3 – бронзовое покрытие типа БрАЖНМц;
- лопасть №4 – интерметаллидное Ni-Al покрытие.

В качестве плазмообразующего, транспортирующего и фокусирующего газов использовался воздух. Для завесы (защиты) анода плазмотрона использовалась смесь воздуха с небольшой добавкой пропан-бутана.

Для отработки режимов плазменного напыления предварительно проводились измерения скорости и температуры дисперсной фазы в процессе напыления с помощью оригинальной оптической системы экспресс-контроля, построенной на базе цифровой камеры и спектрометра видимого диапазона длин волн [16-18]. Толщина напылённых на лопасти защитных покрытий составляла 300 мкм.

Гребной винт с защитными покрытиями и такой же новый контрольный гребной винт без защитных покрытий были установлены в начале навигации 2016 года на теплоходы пр.КС-101Д. Оба теплохода эксплуатировались в одинаковых условиях рек Катунь, Бия и Верхняя Обь.

Плазменное напыление покрытий из порошков различных сплавов на всех четырёх лопастях гребного винта теплохода «КС-101Д» дало положительный эффект.

Обычно, при таких жёстких условиях эксплуатации (эксплуатация при высоких оборотах

в мелководных областях), к концу навигации гребной винт теплохода вышеуказанного типа приходит в полную негодность. В частности, контрольный гребной винт (без защитных покрытий) потребовал его текущего ремонта во время навигации (приварка пластин к изношенным кромкам и наплавка изношенных поверхностей).

Гребной винт с покрытиями внешне выглядит практически не изношенным и пригоден к эксплуатации в следующий навигационный период (рисунок 6).



а)



б)

Рисунок 6 – Лопасты гребных винтов теплоходов проекта «КС-101Д» после навигации 2016 года: а)-лопасть с защитным Ni-Al покрытием; б)-отремонтированная во время навигации лопасть без покрытия

Выводы:

– Использование распределённого кольцевого ввода порошка в плазменный поток позволяет существенно увеличить эффективность взаимодействия напыляемого порошка с потоком термической плазмы и сформировать покрытия с повышенными физико-механическими характеристиками.

– Добавка пропан-бутана в качестве завесы анода дополнительно повышает эффективность работы плазмотрона.

– Улучшение структуры покрытий позволяет применять технологию восстановления и упрочнения поверхностей деталей машин плазменным напылением порошковыми сплавами без операции дополнительного оплавления.

– Использование плазменнонапылённых покрытий целесообразности для защиты деталей, работающих в условиях коррозионного, гидроабразивного и кавитационного износов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Арабьян, Л.К. Плазменное упрочнение гребных винтов / Л.К. Арабьян, А.И. Бекетов, Н.Ф. Голубев, Н.М. Гельтман // Речной транспорт. -1983, -№1. -С. 33-35.
- 2 Тушинский, Л.И. Методы исследования материалов: Структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов, А.О. Токарев, В.И. Синдеев. -М.: Мир, 2004. -384 с.
- 3 Вороненко, В.П. Параметры резания при иглофрезеровании / В.П. Вороненко, М.И. Седых // -Изв. Моск. гос. техн. унив. МАМИ. -2009. -Т.1. -№2. -С. 192-195.
- 4 Токарев, А.О. Упрочнение деталей машин износостойкими покрытиями/ А.О. Токарев. -Новосибирск: Изд. Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2000. -200 с.
- 5 Анциферов, В.Н. Газотермические покрытия / В.Н. Анциферов, А.М. Шмаков, С.С. Агеев, В.Я. Буланов. -Екатеринбург: УИФ Наука, 1994. -318 с.
- 6 Харламов, Ю.А. Классификация видов взаимодействия порошка с подложкой при нанесении покрытий / Ю.А. Харламов // -Порошковая металлургия. -1988. -№1. -С. 18-22.
- 7 Kuzmin, V.I. Thermal treatment of plasma-spraying coating / V.I. Kuzmin, A.O. Tokarev // Plasma jets in the development of new technology. Proceedings of the international workshop, USSR. Utrecht The Netherlands, Tokyo, Japan. -1990. -P. 375-382.
- 8 Кузьмин, В.И. Плазменное напыление порошковых покрытий при газодинамической фокусировке дисперсной фазы / В.И. Кузьмин, Е.В. Каратаев, Д.В. Сергачев, Е.Е. Корниенко, Е.Ю. Лапушкина, А.О. Токарев // Актуальные проблемы в машиностроении = Actual problems in machine building: матер. 1 межд. науч.-практ. конф., Новосибирск, 26 мар. 2014 г. -Новосибирск: Изд. Новосиб. гос. техн. унив., 2014. -С. 482-488.
- 9 Арабьян, Л.К. Структура малоуглеродистой стали с износостойким покрытием после термообработки ламинарной струей азотной плазмы / Л.К. Арабьян, И.М. Засыпкин, В.И. Кузьмин, А.О. Токарев // -Изв. СО АН СССР. Серия технических наук. -1990. -Вып. 2. -С. 99-104.
- 10 Токарев, А.О. Влияние электроконтактного нагрева на структуру износостойких никель-хромовых покрытий / А.О. Токарев // -Порошковая металлургия. -1990. -№5. -С. 47-52.
- 11 Токарев, А.О. Износостойкие покрытия из порошкового самофлюсующегося сплава со сферическим релифом / А.О. Токарев // -Сварочное производство. -1999. -№7. -С. 37-38.
- 12 Солоненко, О.П. Межфазный обмен теплом в условиях радиально-кольцевой инжекции дисперсного материала в по-

ток плазмы / О.П. Солоненко, А.Л. Сорокин // -Известия СО АН СССР, серия техн. наук: Новосибирск: «Наука», Сибирское отделение, -1990. -Вып. 5. -С. 75-82.

13 Способ плазменной обработки и плазмотрон: Патент WO 90/12123 / С.А. Ермаков, М.В. Карасёв, В.С. Клубникин и др., 1990.

14 Бороненко, М.П. Методы контроля температуры и скорости частиц конденсированной фазы в процессе плазменно-дугового напыления / М.П. Бороненко, И.П. Гуляев, П.Ю. Гуляев и др. // -Фундаментальные исследования. -2013, -№10-6. -С. 1194-1199.

15 Токарев, А.О. Повышение качества металлического порошкового покрытия при плазменном напылении с кольцевой инжекцией порошка / А.О. Токарев, В.И. Кузьмин, Я.К. Малыгина // -Актуальные проблемы в машиностроении. -2016. -№3. -С. 370-377.

16 Dolmatov, A.V. Control of dispersed-phase temperature in plasma flows by the spectral-brightness pyrometry method / A.V. Dolmatov, I.P. Gulyaev, P.Yu. Gulyaev, V.I. Jordan // -IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. -2016, -V. 110, 012058.

17 Ермаков, К.А. Система оптического контроля скорости и температуры частиц в технологиях газотермического напыления / К.А. Ермаков, А.В. Долматов, И.П. Гуляев // -Вестн. Югорского гос. унив. -2014. -№2(33). -С. 56-68.

18 Долматов, А.В. Автоматизация теплофизических исследований процесса газотермического напыления покрытий / А.В. Долматов, И.П. Гуляев, Е.А. Лысков, В.О. Москаленко // -Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов. -2016. -№6. -С. 192-201.

19 Kornienko, E. Researches structure and properties of self-fluxing coating, obtained by air-plasma spraying / E. Kornienko, A. Smirnov, V. Kuz'min // -Applied Mechanics and Materials. -2014. -Т.698. -С. 405-410.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *плазменное напыление, кольцевая инжекция, самофлюсующиеся порошки, износостойкие покрытия, кавитационное и гидроабразивное изнашивание*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Токарев Александр Олегович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Кузьмин Виктор Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Федотова Екатерина Сергеевна, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Малыгина Яна Константиновна, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Сохранич Андрей Иванович, студент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСТРЕМУМА ДЛЯ НЕКОТОРОГО КЛАССА ФУНКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГЕБРЫ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

О.Г. Куделин, В.И. Фомин

DEFINITION OF AN EXTRE-MUM FOR SOME CLASS OF FUNCTIONS WITH USING ELEMENTS OF ALGEBRA AND ANALYTICAL GEOMETRY

Siberian state university of water transport
O.G. Kudelin, V.I. Fomin

At the junction of two sciences of algebra and analytic geometry solutions to some unusual problems.

Keywords: the extremum of the function, algebra, analytical geometry

На стыке двух наук алгебры и аналитической геометрии предложены решения некоторых нестандартных задач.

В данной статье, авторы предлагают расширить возможности предложенной реализации определения экстремума для суммы радикальных выражений, предложенной в работе [1]. Предлагается схема отыскания точного значения экстремума функции, составленной из суммы трёх радикальных выражений с различным числом слагаемых и переменных в подкоренных выражениях типа

$$\sqrt{(x-a)^2+(y-b)^2} \text{ или } \sqrt{(x-a)^2+(x-b)^2} \text{ или } \sqrt{(x-a)^2+b^2}, \quad (1)$$

где a, b – некоторые константы.

Пример 1. Найти наименьшее значение выражения

$$f[x, y] = \sqrt{x^2+y^2} + \sqrt{(x-4)^2+y^2} + \sqrt{(x+6)^2+(y-2)^2}. \quad (2)$$

Функция $f(x, y)$ действительно имеет экстремум, причём минимум в некоторой точке (x_{min}, y_{min}) , которая пока остаётся неопределённой. Для поиска её координат и соответственно экстремального значения $f(x, y)$, необходимо определить минимальное расстояние от точки (x_{min}, y_{min}) до вершин треугольника с координатами $A(0,0), B(4,0), C(-6,2)$ (рисунок 1), что связано с частным случаем одной из известных геометрических задач [2]. Такая точка – называется точкой Торричелли.

Теорема Торричелли. Если большой угол треугольника меньше 120° , то точка Торри-

челли 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.

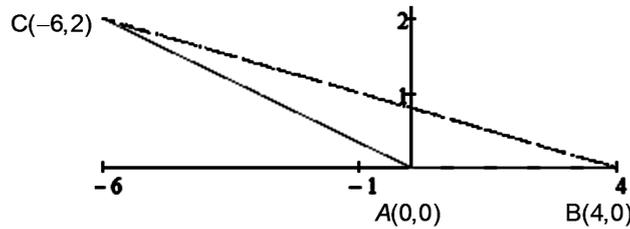


Рисунок 1 Положение $\triangle ABC$ в декартовой системе координат

Вычислим косинус большого угла $\angle CAB$ в $\triangle ABC$, тогда имеем

$$\vec{AB} = \{4, 0\}, \vec{AC} = \{-6, 2\}, \vec{BC} = \{-10, 2\},$$

и тогда

$$\cos(\angle A) = \frac{|\vec{AB}|^2 + |\vec{AC}|^2 - |\vec{BC}|^2}{2|\vec{AB}||\vec{AC}|} = \frac{16 + 40 - 104}{8\sqrt{104}} = -\frac{3\sqrt{26}}{26} < -\frac{1}{2}.$$

Так как

$$\cos(\angle CAB) < -\frac{1}{2},$$

то тупой угол $\angle CAB$ треугольника более 120° . Следовательно, точкой экстремума будет точка $A(0,0)$. Согласно теореме Торричелли: сумма расстояний от точки $A(0,0)$ до других вершин треугольника $B(4,0), C[-6,2]$ будет минимальной, и, поэтому имеем следующее решение поставленной задачи

$$(x_{\min}, y_{\min}) = (0, 0); \min f(x, y) = f(x_{\min}, y_{\min}) = f(0, 0) = 4 + 2\sqrt{10}.$$

Ответ

$$\min f(x, y) = f(x_{\min}, y_{\min}) = f(0, 0) = 4 + 2\sqrt{10}.$$

Пример 2. Найти точку, для которой будет наименьшее значение выражения

$$f(x, y) = \sqrt{(x+1)^2 + y^2} + \sqrt{(x-5)^2 + (y-6)^2} + \sqrt{(x-8)^2 + y^2}, \quad (3)$$

и вычислить его.

Функция $f(x, y)$ имеет экстремум, причём минимум в некоторой точке $O(x_{\min}, y_{\min}) \in \square ABC$, так как $\triangle ABC$ является остроконечным (рисунок 2). Координаты этой точки пока остаются неопределёнными. После того, как они определятся, будет найдено и экстремальное значения выражения (3), согласно теореме Торричелли.

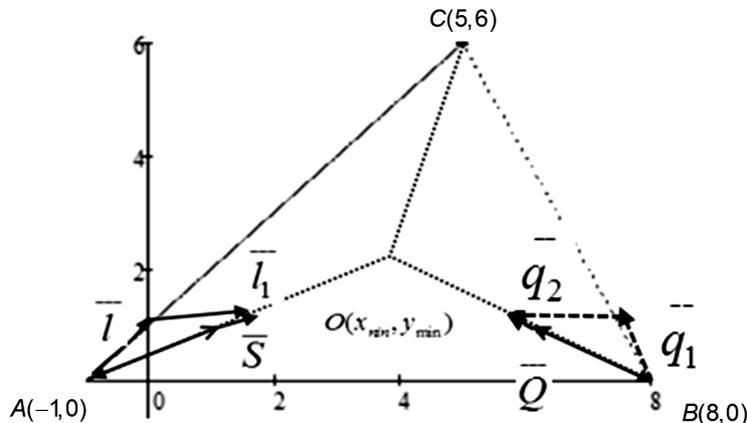


Рисунок 2 Положение $\triangle ABC$ в декартовой системе координат с вершинами в точках $A(-1,0), B(8,0), C(5,6)$.

Используя теорему косинусов, как это делалось в примере 1, определяем внутренние углы $\triangle ABC$, и получаем

$$\angle CAB = 45^\circ; \angle ACB = 71,56505^\circ; \angle CBA = 63,43495^\circ.$$

Далее, введём обозначения

$$\angle CAO = a_1; \angle OAB = a_2; \angle ACO = c_1; \angle OCB = c_2; \angle OBA = b_1; \angle OBC = b_2,$$

тогда, согласно теореме Торричелли, имеет место следующая система уравнений

$$\begin{cases} a_1 + c_1 = 60^\circ, a_2 + b_1 = 60^\circ, 2(a_1 + c_1) - (a_2 + b_1) - (c_2 + b_2) = 0^\circ; \\ a_1 + a_2 = 45^\circ, b_1 + b_2 = 63,43495^\circ, c_1 + c_2 = 71,56505^\circ. \end{cases} \quad (4)$$

Решая линейную систему уравнений (4), получаем следующие значения углов

$$\begin{aligned} a_1 &= 24,21747^\circ; a_2 = 20,78252^\circ; a_1 + a_2 = 45^\circ; \\ b_1 &= 39,21748^\circ; b_2 = 24,21747^\circ; b_1 + b_2 = 63,43495^\circ; \\ c_1 &= 35,78252^\circ; c_2 = 35,78252^\circ; c_1 + c_2 = 71,56505^\circ. \end{aligned}$$

Теперь перейдём к определению координат точки $O(x_{min}, y_{min})$. Для этого необходимо найти точку пересечения двух прямых. Пусть, например, одна из них будет проходить через точки A и O , а другая через точки B и O (или можно было бы выбрать точки C и O).

Составим уравнения этих прямых.

А) прямая AO : найдём вектор \bar{S}

$$\begin{aligned} \bar{S} &= \frac{\overline{AC}}{|\overline{AC}|} + \frac{\sin a_1}{\sin a_2} \frac{\overline{AB}}{|\overline{AB}|} = \bar{T} + \frac{\sin a_1}{\sin a_2} \bar{T}_1 = \{ \bar{T} \uparrow \uparrow \overline{AC}, \bar{T}_1 \uparrow \uparrow \overline{AB} \} = \\ &= \frac{\{6,6\}}{6\sqrt{2}} + \frac{\sin 24,21747^\circ}{\sin 20,78252^\circ} \frac{\{9,0\}}{9} = \{1,86318, 0,70711\}, \end{aligned}$$

при определении координат вектора \bar{S} использовалась теорема синусов [2], с помощью которой была установлена связь между модулями векторов \bar{T} и \bar{T}_1

$$\frac{\sin a_2}{|\bar{T}|} = \frac{\sin a_1}{|\bar{T}_1|} \Rightarrow |\bar{T}| = |\bar{T}_1| \frac{\sin a_2}{\sin a_1}.$$

найдем уравнение прямой, проходящей через точки A и O :

$$AO: \frac{x+1}{1,86318} = \frac{y}{0,70711} \Rightarrow 0,70711x - 1,86318y = -0,70711.$$

В) прямая BO : найдём вектор \bar{Q}

$$\begin{aligned} \bar{Q} &= \frac{\overline{BC}}{|\overline{BC}|} + \frac{\sin b_1}{\sin b_2} \frac{\overline{BA}}{|\overline{BA}|} = \bar{q}_1 + \frac{\sin b_1}{\sin b_2} \bar{q}_2 = \{ \bar{q}_1 \uparrow \uparrow \overline{BC}, \bar{q}_2 \uparrow \uparrow \overline{BA} \} = \\ &= \frac{\{-3,6\}}{3\sqrt{5}} + \frac{\sin 39,21748^\circ}{\sin 24,21747^\circ} \frac{\{-9,0\}}{9} = \{-1,98857; 0,89442\}. \end{aligned}$$

при определении координат вектора \bar{Q} использовалась теорема синусов [2], с помощью которой была установлена связь между модулями векторов \bar{q}_1 и \bar{q}_2

$$\frac{\sin b_1}{\bar{q}_1} = \frac{\sin b_2}{\bar{q}_2} \Rightarrow |\bar{q}_1| = |\bar{q}_2| \frac{\sin b_1}{\sin b_2},$$

найдем уравнение прямой, проходящей через точки B и O

$$BO: \frac{x-8}{-1,98857} = \frac{y}{0,89442} \Rightarrow 0,89442x + 1,98857y = 7,15544.$$

Теперь решаем следующую систему линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} AO: 0,70711x - 1,86318y = -0,70711; \\ BO: 0,89442x + 1,98857y = 7,15544, \end{cases}$$

и получаем ответ: $x = x_{min} = 3,881$, $y = y_{min} = 1,852$, то есть

$$O(x_{min}, y_{min}) = O(3,881; 1,852).$$

Вычислим значение экстремума для функции (3), и тогда будем иметь

$$\min f(x, y) = f(x_{min}, y_{min}) = f(3,881; 1,852) = 14,03284.$$

Ответ

$$\min f(x, y) = f(3,881; 1,852) = 14,03284.$$

Предложенная схема определения экстремума заданной функции с помощью суммы

трёх радикальных выражений вида существенно упрощает процедуру «лобового» вычислений для рассмотренного класса задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Куделин, О.Г. Нестандартное решение некоторых алгебраических задач с помощью аналитической геометрии / О.Г. Куделин, В.И. Фомин // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2015. -№3. -С. 164-166.
 2 Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. -М.: Наука, 2003. -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»

МЕТОД ПОДОБИЯ ПОТОКОВ СО СТЕПЕННЫМ МАСШТАБИРОВАНИЕМ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

П.А. Бимберек

THE METHOD OF SIMILARITY OF FLOWS WITH POWER-LAW SCALING

Siberian state university of water transport
 P.A. Bimberekov

Discusses the similarity conditions for flows with power-law scaling on the basis of equations Nove-Stokes

Keywords: power-law scaling, similarity criteria

Рассматриваются условия подобия потоков со степенным масштабированием на базе уравнений Новье-Стокса.

Необходимым и достаточным условием подобия двух явлений считается [1] постоянство числовых значений безразмерных комплексов, составленных из определяющих размерных параметров и образующих базу – совокупность минимального количества таких комплексов, через которые могут быть выражены все остальные. Базу составляют комплексы трёх категорий, отражающих геометрическое, кинематическое и динамическое подобие систем.

Механические системы являются геометрически подобными, если их сходственные размеры пропорциональны, а углы равны.

Механические системы являются кинематически подобными, если при соблюдении геометрического подобия, скорости сходственных точек пропорциональны, скорости частиц жидкости в соответствующих точках пространства также пропорциональны, а их траектории подобны, то есть

$$\frac{\ell_{1i}}{\ell_{2i}} = \text{idem} ; i = 1, 2, \dots, n ; \frac{V_{1i}}{V_{2i}} = \text{idem} ; i = 1, 2, \dots, n , \quad (1)$$

где $\ell_{1i}, \ell_{2i}, V_{1i}, V_{2i}$ – характерные геометрические размеры и скорости механических систем.

Механические системы являются динамически подобными, если соблюдено равенство безразмерных комплексов, получаемых на основе обезразмеривания уравнений, являющихся полной математической моделью рассматриваемого явления или приближённой моделью, содержащей обоснованную систему сил различной природы, определяющую состояние и развитие изучаемого явления.

Возьмём в рассмотрение отмасштабированное по степенным параметрам уравнения Новье-Стокса по выражениям [2]

$$\begin{aligned} \frac{\partial u'}{\partial t'} + u' \frac{\partial u'}{\partial x'} + g' \frac{\partial u'}{\partial y'} + w' \frac{\partial u'}{\partial z'} &= \left(\frac{X}{\rho} \right)' - \frac{\partial}{\partial x'} \left(\frac{p}{\rho} \right)' + \frac{v' v'^P}{L^P \cdot U_\infty^P} \left(\frac{\partial^2 u'}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2} + \frac{\partial^2 u'}{\partial z'^2} \right); \\ \frac{\partial g'}{\partial t'} + u' \frac{\partial g'}{\partial x'} + g' \frac{\partial g'}{\partial y'} + w' \frac{\partial g'}{\partial z'} &= \left(\frac{Y}{\rho} \right)' - \frac{\partial}{\partial y'} \left(\frac{p}{\rho} \right)' + \frac{v' v'^P}{L^P \cdot U_\infty^P} \left(\frac{\partial^2 g'}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 g'}{\partial y'^2} + \frac{\partial^2 g'}{\partial z'^2} \right); \\ \frac{\partial w'}{\partial t'} + u' \frac{\partial w'}{\partial x'} + g' \frac{\partial w'}{\partial y'} + w' \frac{\partial w'}{\partial z'} &= \left(\frac{Z}{\rho} \right)' - \frac{\partial}{\partial z'} \left(\frac{p}{\rho} \right)' + \frac{v' v'^P}{L^P \cdot U_\infty^P} \left(\frac{\partial^2 w'}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 w'}{\partial y'^2} + \frac{\partial^2 w'}{\partial z'^2} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

при этом уравнение неразрывности имеет вид:

$$\frac{\partial u'}{\partial x'} + \frac{\partial g'}{\partial y'} + \frac{\partial w'}{\partial z'} = 0, \quad (3)$$

В (2) и (3) введены масштабированные величины теми же буквами, что и размерные, но с добавлением штриха, следовательно, имеем

$$\frac{u}{U_\infty^P} = u'; \dots; \frac{x}{L^P} = x'; \dots; \frac{v_H}{v^P} = v'; \frac{t}{T^P} = t';$$

$$\left(\frac{X}{\rho} \sim \frac{L}{T^2}\right) \frac{T^{2P}}{L^P} = \left(\frac{X}{\rho}\right)'; \dots; \left(\frac{p}{\rho} \sim U_\infty^2\right) \frac{1}{U_\infty^{2P}} = \left(\frac{p}{\rho}\right)'; \dots, \quad (4)$$

где P – некоторый показатель степени, зависящий от режима течения потока;

v_H – значение обобщенной вязкости при всех режимах течения;

u, g, w, U_∞ – составляющие скорости у обтекаемого тела соответственно по координатам x, y, z и скорость набегающего потока на бесконечности;

t – время;

L – характерная длина;

T – характерное значение времени

$$T = L/U_\infty;$$

X, Y, Z – составляющие массовых сил соответственно по координатам x, y, z ;

p – давление;

ρ – плотность потока;

ν – коэффициент кинематической вязкости.

Из системы выражений (2) видно, что при заданной форме тела, а, следовательно, и при заданном значении $(p/\rho)' = f(x', y', z', t')$, развитие течения зависит только от дроби перед скобкой, представляющей собой функцию, обратную числу Рейнольдса в степени P и умноженную на значение масштабированного коэффициента кинематической вязкости v' .

Использование степенных зависимостей для описания потоков общеизвестно и даёт хорошие результаты, например [3-8], и поскольку выражение (2) с учётом (3) можно считать математически непротиворечивыми, то представилось целесообразным получить критерии подобия потоков, исходя из степенного вида масштабирующей зависимости на основе (2).

Приняв во внимание что $(p/\rho)' = p\rho^P / (\rho^P \rho^P)$, $(X/\rho)' = (F_x)' = F_x/g^P$ (g – ускорение свободного падения) и отказавшись от оценки характерного времени дробью $T = L/U_\infty$, как это сделано в [2], получим для первого из выражений (2)

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u'}{\partial t'} \frac{U_\infty^P}{T^P} + u' \frac{\partial u'}{\partial x'} \frac{U_\infty^{2P}}{L^P} + g' \frac{\partial u'}{\partial y'} \frac{U_\infty^{2P}}{L^P} + w' \frac{\partial u'}{\partial z'} \frac{U_\infty^{2P}}{L^P} = \\ & = \left(\frac{X}{\rho}\right)' \frac{U_\infty^{2P}}{L^P} - \frac{\partial}{\partial x'} \left(\frac{p}{\rho}\right)' \frac{\rho^P}{\rho^P L^P} + v' v^P \frac{U_\infty^P}{L^{2P}} \left(\frac{\partial^2 u'}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2} + \frac{\partial^2 u'}{\partial z'^2}\right). \end{aligned} \quad (5)$$

Разделив все члены (5) на U_∞^{2P}/L^{2P} , получим

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u'}{\partial t'} \frac{L^P}{T^P U_\infty^P} + u' \frac{\partial u'}{\partial x'} + g' \frac{\partial u'}{\partial y'} + w' \frac{\partial u'}{\partial z'} \frac{U_\infty^{2P}}{L^P} = \\ & = \frac{g^P L^P}{U_\infty^{2P}} F_x' - \frac{\partial}{\partial x'} \left(\frac{p}{\rho}\right)' \frac{\rho^P}{\rho^P U_\infty^{2P}} + v' \frac{v^P}{U_\infty^P L^P} \left(\frac{\partial^2 u'}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2} + \frac{\partial^2 u'}{\partial z'^2}\right). \end{aligned} \quad (6)$$

Безразмерные комплексы в (6) являются критериями подобия, носящие имена известных учёных:

$TU_\infty/L = St$ – число Струхала;

$U_\infty^2/gL = Fr$ – число Фруда (либо U_∞/\sqrt{gL});

$p/(\rho U_\infty^2) = Eu$ – число Эйлера;

$U_\infty L/\nu = Re$ – число Рейнольдса.

Окончательно имеем

$$\frac{1}{St^P} \frac{\partial u'}{\partial t'} + u' \frac{\partial u'}{\partial x'} + g' \frac{\partial u'}{\partial y'} + w' \frac{\partial u'}{\partial z'} \frac{U_\infty^{2P}}{L^P} =$$

$$= \frac{1}{Fr^P} F'_x - Eu^P \frac{\partial}{\partial x'} \left(\frac{p}{\rho} \right)' + \nu' \frac{1}{Re^P} \left(\frac{\partial^2 u'}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2} + \frac{\partial^2 u'}{\partial z'^2} \right).$$
(7)

Из выражения (7) следует, что потоки будут подобны, если будут выполнены условия $St^P = idem$; $Fr^P = idem$; $Eu^P = idem$; $Re^P = idem$. (8)

Автор надеется, что научную общественность заинтересует обсуждение возможности указанного подобия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гордеев, О.И. Основы научных исследований. Эксперимент в гидромеханике судна: учеб. пособ. для студентов / О.И. Гордеев. -Новосибирск: Новосиб. гос. каэд. водн. трансп., 2009. -184 с.
- 2 Бимбереков, П.А. О существовании единого закона подобия для ламинарного и турбулентного типов течения / П.А. Бимбереков // -Вестн. Астрахан. гос. техн. унив. Сер.: Морская техника и технология. -2010. -№1. -С. 37-41.
- 3 Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. -М.: Наука, 1974. -711 с.
- 4 Ханович, И.Г. О влиянии шероховатости обшивки корабля на сопротивление / И.Г. Ханович. -Л.: НИИ №45 НКОВ, 1938. -80 с.
- 5 Альтшуль, А.Д. Сопротивление трения пластинок с технической шероховатостью при турбулентном пограничном слое / А.Д. Альтшуль // -Изв. АН СССР. Отдел. Техн. наук. -1956. -№3. -С. 162-167.
- 6 Федяевский, К.К. Избранные труды / К.К. Федяевский, Под ред. проф., д-ра техн. наук Г. Фирсова. -Л.: Судостроение, 1975. -440 с.
- 7 Бимбереков, П.А. Вариант построения зависимостей для пересчета параметров потока круглой трубы на плоскую пластину / П.А. Бимбереков // -Вестн. Астрахан. гос. техн. унив. Сер.: Морская техника и технология. -2009. -№2. -С. 110-116.
- 8 Бимбереков, П.А. К построению единого описательного аппарата для потоков вязкой жидкости / П.А. Бимбереков // Сб. науч. тр. НГАВТ «Совершенствование гидромеханических качеств речных судов и составов». -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 1995. -С. 51-59.
- 9 Седов, Л.И. Методы подобия и размерности в механике. 10-е изд., доп. / Л.И. Седов. -М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. Лит., 1987. -432 с.
- 10 Эпштейн, Л.А. Методы теории размерностей и подобия в задачах гидромеханики судов / Л.А. Эпштейн. -Л.: Судостроение, 1970. -207 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *степенное масштабирование, критерии подобия*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Бимбереков Павел Александрович, докт. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕГО СИНТЕЗ-ГАЗА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

С.П. Глушков, В.И. Кочергин, В.В. Красников

INFLUENCE OF ADDITIVES HYDROGENOUS SYNTHESIS GAS ON TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF DIESEL ENGINES

Siberian state transport university
 S.P. Glushkov, V.I. Kochergin, V.V. Krasnikov

Application hydrogenous synthesis gas as alternative fuel for internal combustion engines is proved. Results of pilot studies of influence of additives synthesis gas on fuel consumption, power and torque of diesel engines are given. Prospects of use of hydrogen in structure synthesis gas only in load modes of behavior of diesel engines are shown at observance of certain proportions of supply of gas in relation to the main fuel.

Keywords: diesel engine of internal combustion, hydrogenous synthesis gas, power, engine torque

Обосновано применение водородсодержащего синтез-газа в качестве альтернативного топлива для двигателей внутреннего сгорания. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния добавок синтез-газа на расход топлива, мощность и крутящий момент дизельных двигателей. Показана перспективность использования водорода в составе синтез-газа только в нагрузочных режимах работы дизельных двигателей при соблюдении определенных пропорций подачи газа по отношению к основному топливу.

Со времен создания первых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) актуальным является вопрос использования взамен традиционного углеводородного сырья альтернативных видов топлива. При этом преследуются различные цели – снижение расхода топлива, повышение мощности ДВС, уменьшение концентрации вредных веществ в отработавших газах, поиск замены нефтепродуктов в период военных действий либо в период экономическо-

го кризиса.

Наиболее перспективным источником энергии, безусловно, следует считать водородное топливо. Однако использование водорода в чистом виде сопряжено с рядом существенных и не в полной мере решенных технических и организационных проблем [1]. Для облегчения неизбежного, как принято считать, перехода к широкому применению водорода в двигателестроении необходимы иные, эволюционные методы перехода на альтернативное топливо. Одним из таких направлений развития следует считать частичную добавку водорода к традиционному топливу, например, в виде водородсодержащего синтез-газа, что позволяет совершить процесс революционного перехода к массовому использованию водорода плавно и без кардинальных конструктивных изменений энергетических установок. Существуют три основные технологии получения синтез-газа из углеводородного топлива: парциальное окисление, паровая и углекислотная конверсии [2, 3].

Наиболее чистое и легкоперерабатываемое топливо для каталитических конверторов углеводородов – это природный газ и низшие спирты. Эти виды топлива содержат большую долю водорода и не требуют сложной конструкции каталитического реактора. Бензин является нестабильным в процессе переработки продуктом, но, тем не менее, известен весьма успешный опыт его использования для получения водородсодержащего синтез-газа непосредственно на борту транспортного средства [6-8].

До недавнего времени из-за необходимости предварительного испарения тяжелых фракций углеводородов и опасения отрицательного влияния примесей на ресурс катализатора казалось проблематичным создание аналогичных каталитических реакторов, обеспечивающих конвертацию дизельного топлива. Но на данный момент разработаны и успешно прошли ресурсные испытания действующие макетные образцы каталитических установок, обеспечивающих получение синтез-газа, состоящего преимущественно из водорода H_2 и окиси углерода CO [4, 5]. Их применение, предположительно, позволит повысить экологические и технико-экономические показатели дизельных двигателей внутреннего сгорания, широко использующихся, в том числе, и в составе судовых энергетических установок.

С целью подтверждения данного предположения, были проведены экспериментальные исследования влияния добавок водородсодержащего синтез-газа на эксплуатационные характеристики дизельных ДВС, в результате чего установлено, что при подаче во впускной коллектор ДВС эталонных смесей промышленных газов, являющихся аналогами продуктов каталитической конверсии жидкого углеводородного топлива, отмечалось снижение содержания вредных веществ в отработавших газах, а также некоторое улучшение показателей неравномерности вращения [6-8].

Для определения влияния добавок водородсодержащего синтез-газа на расход топлива и мощность энергетических установок с дизельными ДВС экспериментальные исследования проводились на дизель-генераторной установке с двигателем 4ЧН9,5/11,5 в режиме холостого хода и в режиме работы с постоянной нагрузкой 19 кВт. Результаты оценки расхода топлива на дизель-генераторной установке с двигателем 4ЧН9,5/11,5 в режиме холостого хода и в режиме электрической нагрузки приведены на рисунках 1 и 2. Подача синтез-газа при проведении экспериментов производилась ступенчато, с фиксацией режима при каждом значении расхода водородсодержащей смеси.

Показатели расхода топлива без учета переработанного топлива и с учетом переработанного топлива означают, что в первом случае приведены результаты измерения расхода основного дизельного топлива, уменьшающегося в связи с реагированием регулятора частоты вращения топливной системы ДВС на замещение части поступающего топлива водородсодержащим газом, а во втором – учитывалось общее потребное количество жидкого топлива с учетом конвертации в синтез-газ. Из графиков изменения расхода топлива дизель-генераторной установки в режиме холостого хода (рисунок 1) следует вывод о том, что подача синтез-газа в режиме холостого хода является неперспективной. При работе же в нагрузочных режимах для получения положительного эффекта необходимо соблюдение оптимального пропорционального соотношения подачи двух видов топлива, при превышении которого в отношении величины подачи водородсодержащего газа суммарный расход топлива начинает увеличиваться (рисунок 2). С учетом анализа литературных источников [9-12] и результатов предварительных исследований максимально целесообразной величиной добавки водорода (в составе синтез-газа) следует считать 6-10% от массы основного топлива.

Особенностью используемой при проведении экспериментов по измерению расхода топлива дизель-генераторной установки является электронная система регулирования, не по-

звоящая изменить параметры частоты вращения и оценить мощностные показатели ДВС. Поэтому экспериментальные исследования были продолжены на энергетической установке с дизельным двигателем 4Ч11/12,5, установленной на нагрузочно-тормозном стенде КИ 5542.

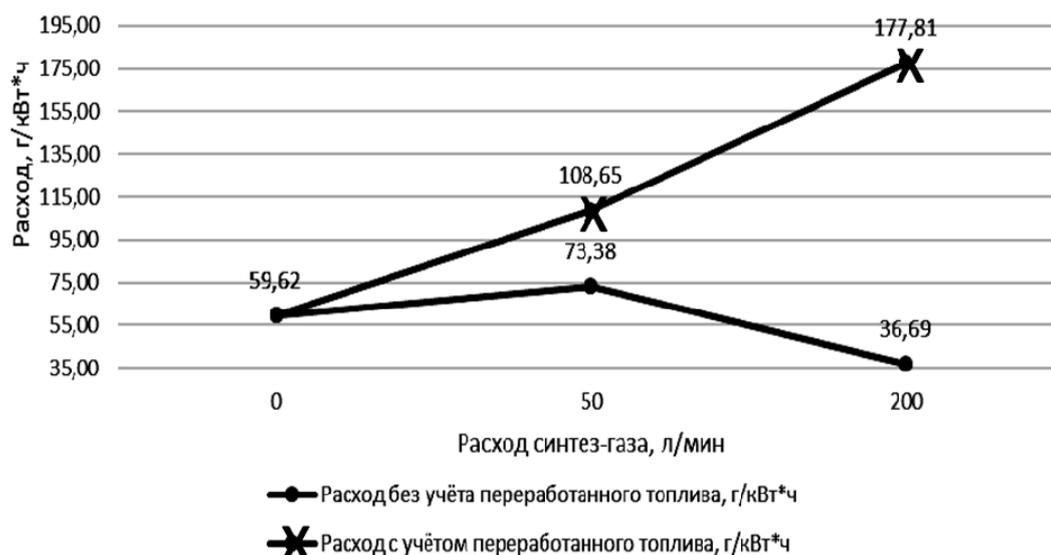


Рисунок 1 – Изменение расхода топлива дизель-генераторной установки с двигателем 4ЧН 9,5/11,5 в режиме холостого хода

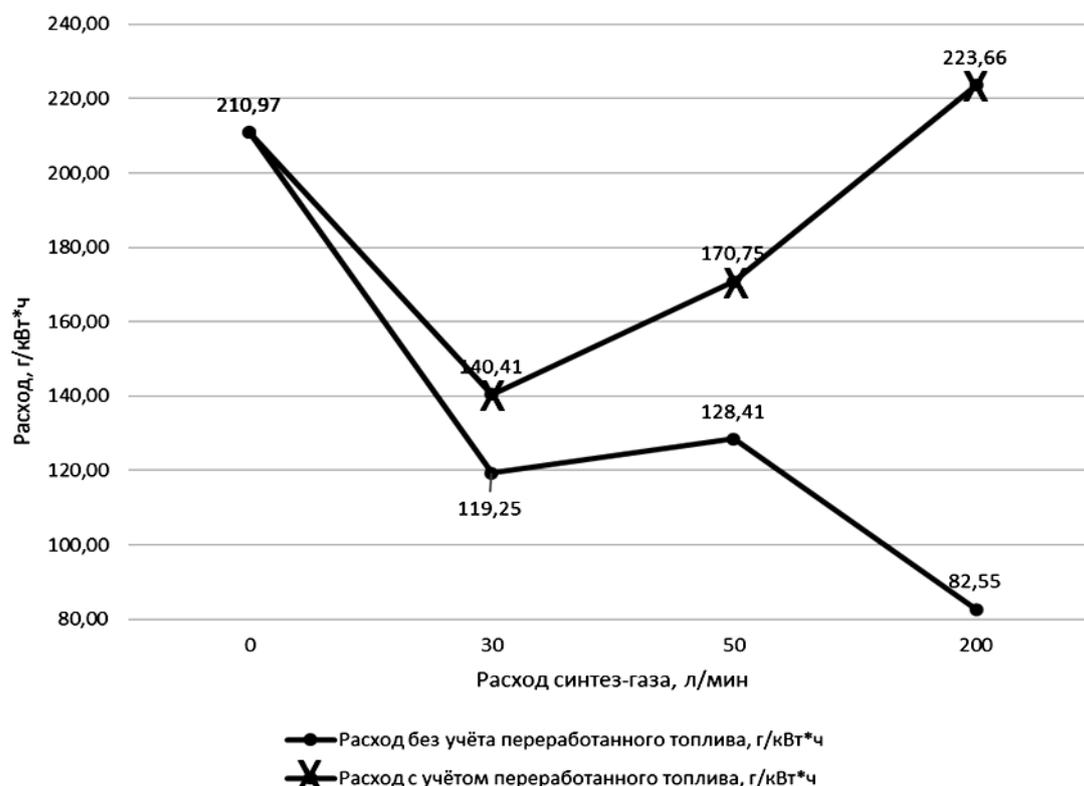


Рисунок 2 – Изменение расхода топлива дизель-генераторной установки с двигателем 4ЧН 9,5/11 в нагрузочном режиме

Испытания проводились при постоянной нагрузке и зафиксированном рычаге управления топливоподачей, при этом частота вращения коленчатого вала при подаче газа оставалась на одном уровне. Увеличение и снижение подачи синтез-газа во впускной коллектор осуществлялось ступенчато, с фиксацией расхода синтез-газа на величинах 0, 50, 100 и 150 л/мин. Полученные данные (рисунок 3 и 4) говорят об увеличении крутящего момента и мощности двигателя при подаче водородсодержащего синтез-газа.

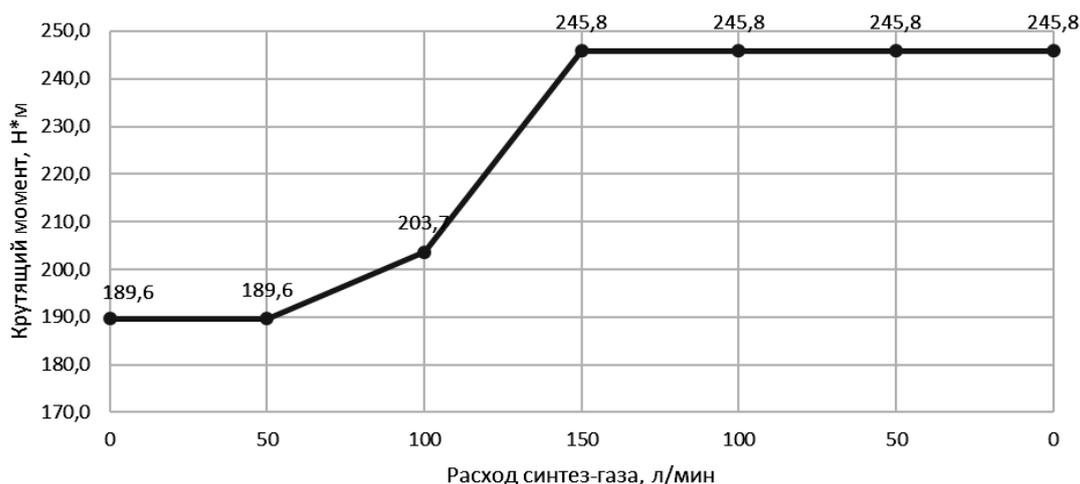


Рисунок 3 – Изменение крутящего момента двигателя 4С11/12,5 при различных значениях подачи синтез-газа

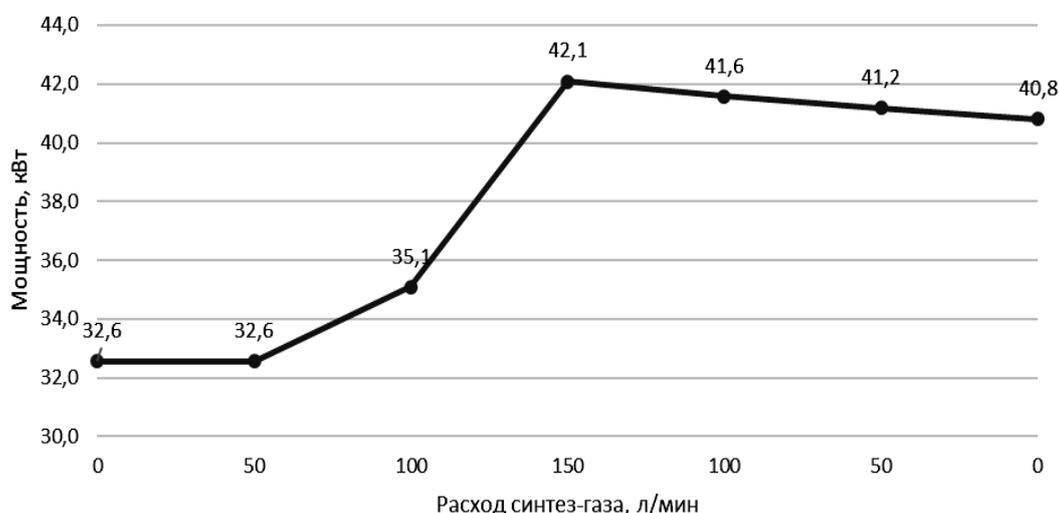


Рисунок 4 – Изменение мощности двигателя 4С11/12,5 при различных значениях подачи синтез-газа

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кочергин, В.И. Особенности решения проблем обеспечения безопасности при реализации инновационных процессов / В.И. Кочергин, С.П. Глушков // -Вестник ПНИПУ. Безопасность и управление рисками. -2016. -№5. -С. 203-209.
- 2 Матковский, П.Е. Технологии получения и переработки синтез-газа / П.Е. Матковский, И.В. Седов, В.И. Савченко, Р.С. Яруллин // -Газохимия. -2011. -№3-4 (19-20). -С. 77-84.
- 3 Lindstrom, B. Diesel fuel reformer for automotive fuel cell applications / B. Lindstrom, J.A.J. Karlsson, P. Ekdunge, L. De Verdier, B. Haggendal, J. Dawody, M. Nilsson, L.J. Pettersson // International Journal of hydrogen energy. -2009. -№34. -P. 3367-3381.
- 4 Бризицкий, О.Ф. Разработка компактных устройств для получения синтез-газа из углеводородного топлива на борту автомобиля в целях повышения топливной экономичности и экологических характеристик автомобиля / О.Ф. Бризицкий, В.Я. Терентьев, А.П. Христолюбов и др. // -Альтернативная техника и экология. -2004. -№11. -С. 17-23.
- 5 Кириллов, В.А. Катализаторы конверсии углеводородных и синтетических топлив для бортовых генераторов синтез газа / В.А. Кириллов, Н.А. Кузин, Ю.И. Амосов, В.В. Киреенков, В.А. Собынин // -Катализ в промышленности. -2011. -№1. -С. 60-67.
- 6 Кочергин, В.И. Перспективные направления обеспечения экологичности предпускового подогрева транспортных средств в условиях эксплуатации / В.И. Кочергин, И.К. Далюк, А.В. Порсин, А.В. Куликов, В.Н. Рогожников // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2014. -№3. -С. 156-160.
- 7 Кочергин, В.И. Перспективные направления использования газомоторного топлива на железнодорожном транспорте / В.И. Кочергин, И.К. Далюк, В.В. Красников // -Вестник СГУПС. -2015. -№1. -С. 19-21.
- 8 Porsin, A. Catalytic reactor with metal gauze catalysts for combustion of liquid fuel / A. Porsin, A. Kulikov, I. Dalyuk, V. Rogozhnikov, V. Kochergin // -Chemical Engineering Journal. -2015. -№282. -P. 233-240.
- 9 Красников, В.В. Повышение эксплуатационных показателей ДВС путем использования синтез-газа / В.В. Красников, В.И. Кочергин // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования: мат. регион. науч.-техн. конф. -Новосибирск: Новосибир. гос. аграр. унив., 2015. -С. 122-127.
- 10 Глушков, С.П. Повышение эксплуатационных показателей дизельных ДВС путем использования водородсодержащего синтез-газа / С.П. Глушков, В.И. Кочергин, В.В. Красников // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста государства: Сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. -Ч.2. -Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2016. -С. 244-247.

11 Фомин, В.М. Водородная энергетика автомобильного транспорта / В.М. Фомин. -М.: Изд-во Рос. унив. дружбы народов, 2006. -334 с.

12 Родионов, В.В. Водородная энергетика на автомобильном транспорте / В.В. Родионов, А.С. Денисов, Н.В. Горшков. - Саратов: Саратовский гос. техн. унив., 2011. -158 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *дизельный двигатель внутреннего сгорания, водородсодержащий синтез-газ, мощность, крутящий момент*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Глушков Сергей Павлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Кочергин Виктор Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Красников Василий Викторович, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ПЕРСПЕКТИВЫ ИННОВАЦИОННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ОБМОТКОЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

В.З. Манусов, Д.С. Ахьёев

PROSPECTS OF INNOVATIVE APPLICATION OF TRANSFORMERS WITH HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTING WINDING IN ELECTRIC NETWORKS OF RUSSIA

Novosibirsk state technical university
V.Z. Manusov, D.S. Ahyoev

The article describes prospects and advantages of innovative application of transformers with high-temperature superconducting (HTS) winding in electric grids and electric power systems of Russia. The topic is quite important as electric grids of Russia is excessively dependent on the large number of stages of transformation. This leads to the fact that the total losses of active power in transformers are comparable with the power losses in the entire electrical network. The article shows that the HTS transformer has significant advantages with respect to traditional transformers. In the paradigm of the global trend towards energy saving HTS transformers provide a significant increase in energy efficiency compared to traditional counterparts up to 50 times. HTS transformers serve as a transition from ultrahigh-voltage technology to ultra-high current technology.

Keywords: transformers, high-temperature superconducting winding, losses of active power, energy efficiency, liquid nitrogen, reactor

Рассмотрены перспективы и преимущества инновационного применения трансформаторов с высокотемпературной сверхпроводящей (ВТСП) обмоткой в электрических сетях и электроэнергетических системах России. Актуальность задачи обусловлено тем, что в системообразующих и распределительных электрических сетях России имеется чрезмерно большое количество ступеней трансформации. Это приводит к тому, что суммарные потери активной мощности в трансформаторах сопоставимы с потерями мощности во всей электрической сети. Показано, что ВТСП трансформатор обладает существенными преимуществами по отношению к традиционным трансформаторами. В парадигме общемировой тенденции к энергосбережению ВТСП трансформаторы обеспечивают существенное повышение энергоэффективности по сравнению с традиционными аналогами до 50 раз. ВТСП трансформаторы служат переходом от технологии сверхвысоких напряжений к технологии сверхбольших токов.

Развитие электроэнергетических систем (ЭЭС) требует повышения их энергоэффективности и технического совершенствования. В Российской Федерации (РФ) суммарно сосредоточена одна из самых больших трансформаторных мощностей в мире. Это связано с тем, что в РФ вследствие больших расстояний между источниками генерации и потребителями имеет место многоступенчатая система повышения/понижения напряжения. Следствием этого являются большие потери электроэнергии. Около 50% потерь активной мощности при передаче и распределении приходится на трансформаторы. К тому же, основная доля трансформаторов в России выработала свой эксплуатационный срок службы. Что также увеличивает потери активной мощности и эксплуатационные затраты. В свете вышесказанного весьма актуально использование силовых трансформаторов с высокотемпературными сверхпроводящими (ВТСП) обмотками, преимуществом которых являются исключительно малые потери активной мощности по сравнению с традиционными трансформаторами.

Открытие высокотемпературной сверхпроводимости дало новые возможности для её применения в электротехнических устройствах. Использование для охлаждения дешёвого и доступного жидкого азота вместо дорогостоящего гелия позволило проектировать экономически выгодные сверхпроводящие устройства. Кроме того, охлаждение до температуры жидкого азота (77 К) требует значительно меньших энергетических затрат, чем для охлаждения гелия.

Современные разработки трансформаторов с высокотемпературными сверхпроводящими обмотками. Явления сверхпроводимости открыто после исследований Камерлинг-Оннеса, который получил в 1908 году жидкий гелий, а затем им же было открыто явление сверхпроводимости через три года. Это были сверхпроводники первого поколения.

В настоящее время ВТСП проводники разделяются на два поколения. Провода 1-го поколения (1G) — это провода на основе серебряной матрицы с микроканалами, в которых находится сверхпроводящая керамика Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO), как правило, Bi₂Sr₂CaCu₂O_x (Bi-2212) с критической температурой 80 К или Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O_x (Bi-2223) с критической темпера-

турой 110 К.

Сверхпроводники второго поколения (2G) разработаны на основе сверхпроводника Y-Ba-Cu-O (YBCO). Эти сверхпроводники, часто именуемые «лентами с покрытием» (coated conductors), являются на сегодняшний день самым перспективным направлением применения сверхпроводимости в технических системах. Основным фундаментальным преимуществом сверхпроводников второго поколения (2G) является то, что они обладают максимальной плотностью критического тока.

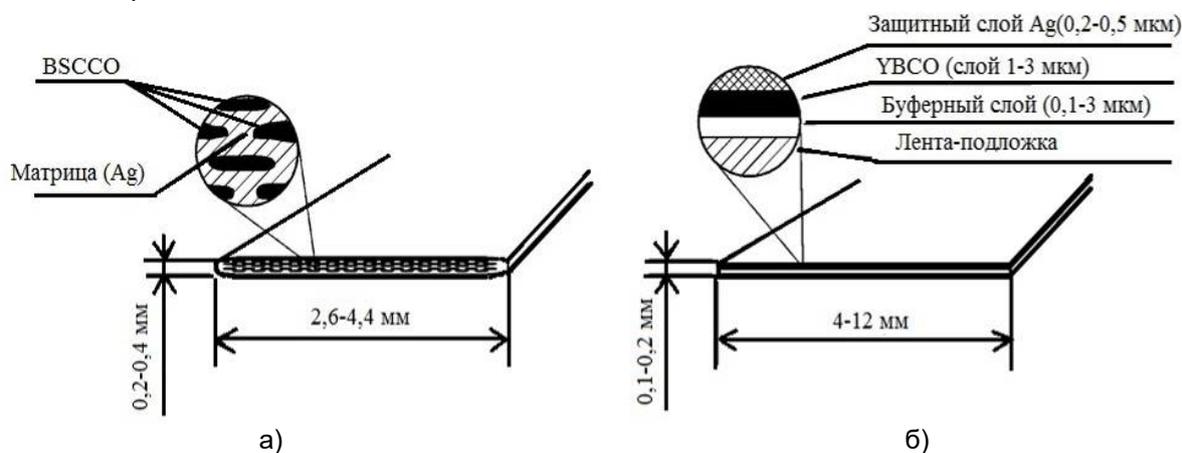


Рисунок 1 – Сечение ВТСП лент на основе BSCCO и YBCO: а)-провод первого поколения; б)-провод второго поколения

Из рисунка 1 видно, что сечение сверхпроводника составляет лишь малую часть общего сечения провода: в лентах 1-го поколения эта величина обычно не превышает 40%, а в лентах 2-го поколения и того меньше – 5%.

На сегодняшний день существуют три основных проекта по созданию ВТСП трансформаторов: в Европе, США и Японии. Первый ВТСП трансформатор на напряжение 18,7/0,4 кВ мощностью 630 кВА создан компанией «ABB» совместно с американской и французской компаниями «ASC» (изготовителя ВТСП ленты для обмоток) и электроэнергетической системы «Electricite de France». Далее «ABB» разработал трансформатор 10 МВА, а «Electricite de France» установил его для выполнения промышленных испытаний. В дальнейшем компании хотят добиться достижение мощности ВТСП трансформатора 30 МВА, а в будущем 100 МВА.

Вторым был создан трансформатор напряжением 6,6/3,3 кВ мощностью 500 кВА компанией «Fuji Electric» (Япония), с применением ВТСП лент, а лента была создана фирмой «Sumitomo Electric Corporation».

Третьим, наибольшим по мощности, был трансформатор 1000 кВА американского производства компании «Waukesha Electric».

В конце 2003 года был построен трансформатор 26,4/4,2 кВ мощностью напряжением 10 МВА. Но при испытаниях было обнаружено несколько недостатков: в обмотках был выявлен большой уровень частичных разрядов, в криогенной системе происходили утечки, и кроме того, возникли проблемы с испытанием трансформатора на полное напряжение по высокой стороне. На сегодняшний день эти неполадки устранены, трансформатор установлен на испытательный стенд, и новые испытания намечены уже в ближайшее время.

Также ведутся исследования и разработки в других странах мира и в частности России. Компания ОАО «Русский сверхпроводник» разработала и провела испытания однофазного сверхпроводящего трансформатора мощностью 10 кВА с магнитопроводом из аморфной стали.

Основные параметры высокотемпературных сверхпроводящих трансформаторов. Разновидность конструкций ВТСП трансформаторов и их отдельных элементов значительно шире по сравнению с аналогичными вариантами традиционных силовых трансформаторов. Магнитопровод трансформатора может иметь как «холодное» исполнение (погружен в жидкий азот в месте с обмотками), так и «теплое» исполнение (работает при температуре окружающей среды). Холодное исполнение, с одной стороны, способствует упрощению конструкции криостата и уменьшению размеров магнитной системы, с другой стороны, вносит дополнительные теплопритоки, увеличивая энергетические затраты на охлаждение. Снижения

теплопритоков можно достичь использованием в качестве материала магнитопровода аморфных сталей, имеющих очень низкие тепловыделения (0,2 Вт/кг при 1,4 Тл и 100 К), или обычный холоднокатаной электротехнической стали с улучшенными характеристиками. Теплое исполнение магнитопровода приводит к более сложной конструкции криостата, выполняемого в виде полого цилиндра, что увеличивает размер магнитной системы, но вместе с тем уменьшает теплопритоки в холодную часть.

Обмотки ВТСП трансформатора могут быть концентрическими или чередующимися, и намотаны как проводниками первого поколения, так и проводниками второго поколения. На рисунке 2 приведено исполнение трансформатора с «теплым» магнитопроводом.

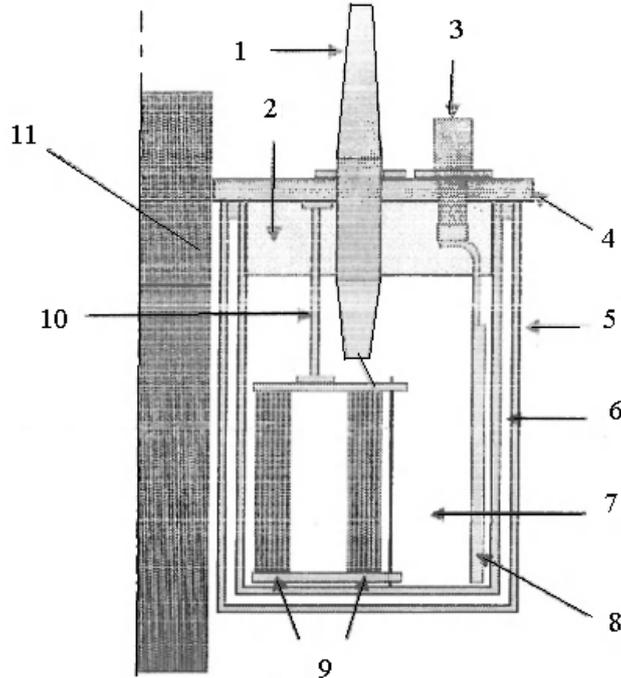


Рисунок 2 – Схематическое устройство ВТСП трансформатора: 1-токоввод первичной обмотки; 2-газовая подушка; 3-криокуллер; 4-крышка; 5-криостат; 6-вакуум; 7-жидкий азот; 8-охлаждающая оболочка; 9-обмотки; 10-поддерживающая трубка; 11-магнитопровод

Средством, облегчающим исследование электромагнитных процессов в электротехнических устройствах, является схема замещения. На рисунке 3 приведены Г-образные схемы замещения трансформатора.

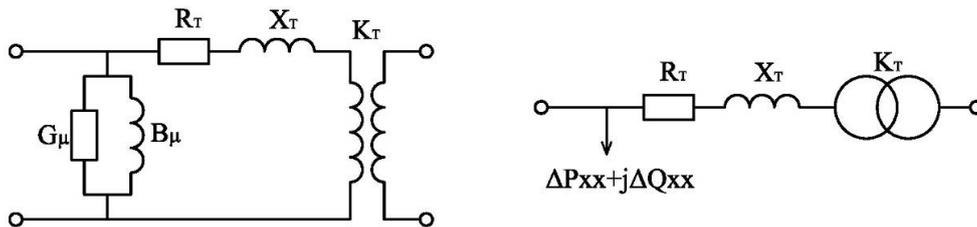


Рисунок 3 – Г-образные схемы замещения трансформатора

Сверхпроводники обладают нулевым активным сопротивлением, поэтому активное сопротивление в схеме замещения сверхпроводящего трансформатора равно нулю $R_T = 0$. Однако наличие переменного магнитного поля вызывает потери на вихревые токи и гистерезис (G_μ и B_μ) в сверхпроводниковом материале. Эти потери, по сравнению с потерями в обмотках традиционного трансформатора, незначительны.

Индуктивное сопротивление рассеяния определяется выражением

$$X_T = \frac{2\pi f \mu_0 \pi w^2 \rho_1}{h} \left(D_{12} \delta_{12} + \frac{b_1 D_1 + b_2 D_2}{3} \right), \quad (1)$$

где f – частота;

- w – число витков;
- ρ_1 – коэффициент Роговского;
- D_{12} – диаметр средней линии между первичной и вторичной обмотками;
- δ_{12} – зазор между первичной и вторичной обмотками;
- b_1 – ширина первичной обмотки;
- D_1 – средний диаметр первичной обмотки;
- b_2 – ширина вторичной обмотки;
- D_2 – средний диаметр вторичной обмотки;
- h – высота обмотки.

При сравнении индуктивных сопротивлений рассеяния ВТСП трансформатора и трансформатора с медными обмотками можно допустить равенство числа витков, значение токов протекающих по виткам, равенство поперечных сечений стержней магнитопроводов.

Для мощных силовых трансформаторов с большим диаметром обмоток можно принять, также

$$D_{12} \approx D_1 \approx D_2 .$$

Для трансформаторов с медными обмотками индуктивное сопротивление x_M будет определяться выражением

$$x_M = \frac{2\pi f \mu_0 \pi w^2 \rho_{1M}}{h_M} D_{12M} \left(\delta_{12} + \frac{b_{1M} + b_{2M}}{3} \right). \quad (2)$$

Для трансформатора с ВТСП обмотками значение индуктивного сопротивления $x_{ВТСП}$ будет равно

$$x_{ВТСП} = \frac{2\pi f \mu_0 \pi w^2 \rho_{1ВТСП}}{h_{ВТСП}} D_{12СП} \left(\delta_{12} + \frac{b_{1ВТСП} + b_{2ВТСП}}{3} \right). \quad (3)$$

В предположении, что в медных обмотках используется прямоугольный провод, причем большая сторона этого провода равна ширине ВТСП ленты, и ток, протекающий по обмоткам в трансформаторе с медными обмотками, равен току, протекающему по обмотке ВТСП трансформатора

$$I = jS = j_{СП} a_{пр.СП} b_{пр.СП} = j_M a_{пр.М} b_{пр.М}, \quad (4)$$

- где $j_{втсп}$, j_M – плотности тока в ВТСП и медных проводах;
- $a_{пр.втсп}$, $b_{пр.втсп}$ – толщина, и ширина ВТСП ленты соответственно;
- $a_{пр.М}$, $b_{пр.М}$ – меньшая и большая сторона медного провода.

При $b_{пр.втсп} = b_{пр.М}$

$$a_{пр.втсп} = \frac{j_M}{j_{втсп}} a_{пр.М} = \frac{a_{пр.М}}{k}, \quad (5)$$

где k – коэффициент, показывающий степень увеличения плотности тока в ВТСП проводе по сравнению с медным проводом

$$k = j_{втсп} / j_M ;$$

$$\frac{x_M}{x_{ВТСП}} = \frac{\rho_{1M} D_{12M} h_{ВТСП}}{h_M \rho_{1ВТСП} D_{12ВТСП}} \left(\frac{3\delta_{12} + b_{1M} + b_{2M}}{3\delta_{12} + b_{1ВТСП} + b_{2ВТСП}} \right) = \frac{\rho_{1M} D_{12M} h_{ВТСП}}{h_M \rho_{1ВТСП} D_{12ВТСП}} \left(\frac{3\delta_{12} + n_{пар1} a_{пр.М1} + n_{пар2} a_{пр.М2}}{3\delta_{12} + \frac{n_{пар1} a_{пр.М1}}{k} + \frac{n_{пар2} a_{пр.М2}}{k}} \right), \quad (6)$$

где $n_{пар1}$, $n_{пар2}$ – число параллельных проводов в витке обмотки.

Таким образом, соотношение индуктивных сопротивлений соответствует отношению плотностей токов

$$\frac{x_M}{x_{ВТСП}} \approx k. \quad (7)$$

То есть, индуктивное сопротивление рассеяния обычного трансформатора примерно в k раз больше индуктивного сопротивления рассеяния ВТСП трансформатора. Стоит отметить, что плотность тока в ВТСП проводе на два порядка превышает плотность тока в медном проводе. Однако численный расчет с учетом всех коэффициентов показывает, что индуктивное сопротивление ВТСП трансформатора меньше индуктивного сопротивления обычного трансформатора в 10 раз в зависимости от типа используемого сверхпроводнико-

вого провода.

Параметры G_{μ} и B_{μ} в схеме замещения, пропорциональные потерям в магнитопроводе и имеют несколько меньшее значение, чем в обычном трансформаторе вследствие общего уменьшения габаритов.

Заключение. По сравнению с традиционными трансформаторами ВТСП трансформаторы обладают значительными техническими и экологическими преимуществами, а именно:

- снижение потерь активной мощности при номинальном токе на 90%, что увеличивает КПД трансформатора более чем на 99%;
- уменьшение массогабаритных показателей трансформатора до 40%;
- в ограничение токов короткого замыкания (КЗ), что в аварийных режимах облегчает режимы работы другого электрооборудования сети;
- большая перегрузочная способность без повреждения изоляции и старения трансформатора;
- уменьшение уровня шума;
- более низкие потери в режимах холостого хода и короткого замыкания.

Кроме того, использование жидкого азота в ВТСП трансформаторах позволит, помимо основной функции хладагента, получить надежную, высокоэффективную изоляцию, отличающуюся от обычной традиционной изоляции такими параметрами, как не старение, экологическая чистота, противопожарная безопасность. При этом мощность, затрачиваемая на охлаждение ВТСП трансформатора, снижается примерно в 20 раз по сравнению с мощностью, затрачиваемой на охлаждение обычных силовых трансформаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лутидзе, Ш.И. Сверхпроводящие трансформаторы / Ш.И. Лутидзе, Э.А. Джафаров. -М.: Научтехлитиздат, 2002. -206 с.
- 2 Манусов, В.З. Влияние сверхпроводящих трансформаторов на устойчивость электроэнергетической системы / В.З. Манусов, Н.В. Александров // -Научн. вестн. Новосиб. гос. техн. унив. -2013. -№3(52). -С. 160-165.
- 3 Kalsi, S.S. Applications of high temperature superconductors to electric power equipment. -New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2011. -312 p.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер проекта 8.6809.2017/8.9".

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: трансформатор, высокотемпературная сверхпроводящая обмотка, потери активной мощности, энергоэффективность, жидкий азот, реактор, ограничение токов короткого замыкания, limitation of short-circuit currents

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «НГТУ» Ахьёев Джавод Саламшоевич, аспирант ФГБОУ ВО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВО «НГТУ»

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ ДЕФИЦИТА МОЩНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

Таджикский технический университет им. М.С. Осими

В.З. Манусов, З.С. Ганиев, Д.С. Ахьёев

RATIONALE FOR THE USE OF NON-TRADITIONAL RENEWABLE ENERGY SOURCES TO COVER THE POWER SHORTAGE IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Novosibirsk state technical university
Tajik Technical University named M.S. Osimi
V.Z. Manusov, Z.S. Ganiev, D.S. Ahyoev

The paper analyzes the state and development of the electric power system of the Republic of Tajikistan. Trends in the growth of generating sources of electricity and the possibility of attracting non-traditional renewable energy sources have been studied. The effective use of non-traditional energy sources rests on the extremely rich hydropower resources of the Republic of Tajikistan, which, when fully used, could well cover the country's electricity demand. However, in the autumn-winter period, the existing water in the rivers are inadequate. The attraction of non-traditional renewable energy sources (RES), such as solar resources, wind resources, geothermal energy and biomass can completely solve the problem of annual electricity deficit. Also, the preliminary forecast of power consumption in the republic is given up to 2035.

Keywords: electric power systems, renewable energy sources, water resources, power shortage, power supply, heat supply

Выполнен анализ состояния и развития электроэнергетической системы Республики Таджикистан. Изучены тенденции увеличения генерирующих источников электропотребления и возможности

привлечения нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Эффективное использование нетрадиционных источников энергии опирается на чрезвычайно богатые гидроэнергетические ресурсы Республики Таджикистан, которые при полном использовании вполне могли бы покрывать потребность страны в электроэнергии. Однако в осенне-зимний период имеющийся водостоки в реках недостаточный. Привлечение нетрадиционных возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как солнечные ресурсы, ветровые ресурсы, геотермальная энергия и биомасса полностью решают проблему годового дефицита электроэнергии. Также, приведен предварительный прогноз электропотребления в республике до 2035 года.

Несколько десятилетий назад, в Центральной Азии была хорошо функционирующая интегрированная электроэнергетическая система, Объединенная Энергетическая Система (ОЭС) Средней Азии. ОЭС Средней Азии объединяла электроэнергетические системы Узбекистана, Таджикистана, Киргизстана, Туркменистана и Южного Казахстана. В ее составе успешно функционировали гидроэлектростанции (ГЭС) и тепловые электростанции. ОЭС Средней Азии считалась самой эффективной энергетической системой среди других аналогичных объединений в Единой Электроэнергетической Системе (ЕЭС) Советского Союза. Таджикистан и Киргизстан располагали в основном гидроэлектростанциями, а в других республиках использовали предпочтительно тепловые электростанции. В летний период, начиная с мая месяца до сентября, система работала, опираясь, главным образом, на гидроэлектростанции, а в зимний период на тепловые электростанции. Этот режим позволял сэкономить огромные объемы природного газа и обеспечить надежное электроснабжение потребителей всех республик Средней Азии. После распада Советского Союза республики региона Центральной Азии получили независимость. Постепенно ОЭС Средней Азии также, распалась. Нынешняя ситуация характеризуется отсутствием достаточного сотрудничества между странами в области электроэнергетики, неэффективностью использования и растрате природных ресурсов и общего ухудшения качества и надежности электроснабжения предприятий, городов и сельскохозяйственных районов [1].

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.

Постановка проблемы и пути ее решения. При установленной мощности всех электрических станций в электроэнергетической системе (ЭЭС) 5100 МВт, потребление электроэнергии для каждого жителя является относительно комфортным, так как, каждый житель получает в среднем 1500 кВт·ч в году. Однако в зимний период ситуация становится критической: неудовлетворенный спрос на электроэнергию составляет около 3000 ГВт·ч. В то время, как в летний период избытки электроэнергии достигают более 4200 ГВт·ч. Почти вся совокупность (99%) населения Таджикистана снабжаются электроэнергией от ЭЭС.

Таджикистан имеет общую площадь 143100 км² при численности населения в 8,4 млн. человек. Кроме зимы, Республика Таджикистан является самодостаточной в электроэнергии. Летом экспорт значительно больше (почти в семь раз), чем в зимний импорт.

В таблице 1 приведено выработка электроэнергии в Республике Таджикистан по годам.

Таблица 1 – Производство электроэнергии в Республике Таджикистан за последние десятилетие, ГВт·ч

2000 г.	2002 г.	2004 г.	2006 г.	2008 г.	2010 г.	2012 г.	2014 г.
13 300	14 300	14 200	16 500	17 400	16 100	16 100	17 100

Эффективное реальное электропотребление по своей природе ниже, чем валовая генерация. По расчетным оценкам общие потери электропотребления в электрической сети приблизительно 22% от общего производства электроэнергии или 28% от электропотребления. С каждым годом величина общего годового электропотребления Республики Таджикистан растет незначительно и составляет примерно 12 000 ГВт·ч.

Таджикистан является одной из бедных стран Центральной Азии. Тарифы на электроэнергию были исторически низкими и остаются таковыми. Несмотря на последовательное увеличение тарифов: 44% в 2009 году, 21% в 2010 году, 22%-25% в 2012 году доходная база энергетической системы Республики Таджикистан (ОАХК «Барки Точик») остается достаточ-

но слабой. Общие потери энергии доходят почти до 50% от ее производства.

По предварительным прогнозам изменение нагрузок и дефицита мощности в 2020 году по сравнению с 2012 годом приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Прогноз электропотребления и дефицита мощности в ЭЭС Таджикистана

Параметры	2012 г.	2020 г.
Максимальная нагрузка ЭЭС, МВт	3 500	4 700
Зимний спрос на электроэнергию, ГВт·ч	11 200	15 200
Зимний дефицит электроэнергии, ГВт·ч	3 100	6 800
Общий спрос на электроэнергию, ГВт·ч	16 100	20 800

Сделать достоверный прогноз до 2030 года относительно будущего спроса на электроэнергию весьма затруднительно. Как видно из вышеизложенного ожидается, что общая потребность в электроэнергии возрастет от 16100 ГВт·ч в 2012 году до 20800 ГВт·ч в 2020 г. Это соответствует среднегодовому темпу роста в 2,9%.

Если предположить, что этот показатель будет расти в течение следующих двух десятилетий, то путем экстраполяции можно ориентировочно определить потребность в электроэнергии до 2035 года. Расчетная пиковая нагрузка определяется на основании предполагаемого спроса, при условии, что коэффициент загрузки составит 50%. Результаты предварительного прогнозирования сведены в таблице 3.

Таблица 3 – Прогноз электропотребления в ЭЭС Таджикистана до 2035 года

Показатель	2015 г.	2020 г.	2025 г.	2030 г.	2035 г.
Объем электропотребления, ГВт·ч	18 400	20 800	23 600	26 700	30 200
Пиковая нагрузка, МВт	4 100	4 700	5 300	6 000	6 800

Рассматривая тенденцию роста электропотребления в Таджикистане ближайшие 15-20 лет можно констатировать, что одновременно растет пиковая мощность и дефицит активной мощности. Таким образом, возникает необходимость серьезного привлечения для покрытия дефицита нетрадиционных возобновляемых источников энергии - «зеленой энергии». 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 [1, 2]. Это обусловлена тем, что солнечная радиация более доступная для получения электрической и тепловой энергии и таким образом, решает одновременно проблемы электроснабжения и теплоснабжения. Суммарная солнечная радиация при безоблачном небе достигает 700-800 Вт/м². Эти параметры имеют еще более высокие значения в высокогорных районах особенно на Восточном Памире.

Реальный потенциал ветровой энергии остается мало используемым и недостаточно изученным. На высоте 30-50 м над уровнем моря, на ледниках и горных открытых перевалах скорость ветра превышает 6-8 м, и энергия ветра имеет перспективу использования.

Общий потенциал возможного использования солнечной энергии для покрытия дефицита мощности в осенне-зимний период составляет до 540 млрд. кВт·ч, в то время, как ветроэнергетические ресурсы составляют 28 млрд. кВт·ч.

Привлечение этих возобновляемых источников энергии позволяет, полностью покрыть дефицит активной мощности Республики Таджикистан, кроме января месяца, в котором дефицит сокращается до минимума.

Заключение. Таким образом, в ближайший 15-20 лет объем электропотребления в Республике Таджикистане существенно возрастет. Одновременно с ним возрастает и пиковая нагрузка и как нестранно дефицит мощности. Все это требует развивать генерирующие мощности несвязанные с водными ресурсами, которые не увеличивают генерацию энергии в зимний период, из-за отсутствия таяния ледников. Единственный путь решения проблемы нарастающего дефицита глубокое вовлечение источников «зеленой энергии» – возобновляемых источников энергии (ВИЭ), которые в Таджикистане имеют большой потенциал.

В связи с тем, что Республика Таджикистан является членом Шанхайской Организации Сотрудничества (ШОС), в которую входят также Россия, Китай и другие страны. При экономической и технической поддержки стран ШОС Республика Таджикистан может решить проблему устранения дефицита мощности путем вовлечения ВИЭ, и тем самым обеспечить снижение уровня тарифов на электроэнергию и способствовать улучшению благосостояния населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Manusov, V.Z. Construction and optimization of a power complex with a distributed generation on the basis of renewable and methods of artificial intelligence (on the example of the Republic of Tajikistan) / V.Z. Manusov, A.K. Kirgizov, J. Ahyoev // E3S Web of Conferences. -Volume 6 (2016), International Conference on Sustainable Cities (ICSC 2016) Yekaterinburg, Russia, May 19, 2016.

2 Ахъёев, Дж.С. Нечеткие модели распределенной генерации возобновляемых источников энергии Республики Таджикистан / Дж.С. Ахъёев, А.К. Киргизов, Э.Г. Ядагаев // -Научн. вестн. Новос. гос. техн. унив. -2016. -№3(64). -С. 117-131.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *электроэнергетические системы, возобновляемые источники энергии, водные ресурсы, дефицит мощности, электроснабжение, теплоснабжение*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «НГТУ»
Ганиев Зокирджон Султонович, старший преподаватель ТТУ им. М. Осими*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВО «НГТУ»
734042, Республика Таджикистан, г.Душанбе,, ул. академики Раджабовых, 10, ТТУ им. М. Осими*

СОЗДАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОСТРОВА РУССКИЙ И УПРАВЛЕНИЕ ЕЁ РЕЖИМАМИ

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»

В.З. Манусов, Н.Хасанзода, Д.С. Ахъёев

CREATION OF THE INTEGRATED ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM OF ISLANDS RUSSIAN AND MANAGEMENT OF ITS REGIMES

Novosibirsk state technical university

Far Eastern federal university

V.Z. Manusov, N. Hasanzoda, D.S. Ahyoev

The paper is devoted to the creation and development of the power supply system of the Russian Island and its integration with the power supply system in the city of Vladivostok. It is proposed to use non-traditional renewable energy sources (RES) in the integrated system. When studying the problem, the following scientific and technical problems were solved: the information on the existing systems of electric consumers of the Russian Island summarized; the types of renewable energy sources located on the Russian Island and the possibility of their use as part of an integrated power supply system are justified. The paper reviews and supports the concept of smart grids. It is noted that the problem of monitoring the state and control of the regimes of such an integrated system has not been studied yet.

Keywords: intellectual power system, renewable energy sources, distributed generation, power supply system, mathematical modeling

Работа посвящена созданию и развитию системы электроснабжения острова Русский и её интеграции с системой электроснабжения города Владивосток. Предлагается в интегрированной системе использовать нетрадиционные возобновляемые источники энергии (ВИЭ). При исследовании проблемы решены следующие научно-технические задачи: обобщена сводная информация о существующих системах электропотребителей острова Русский; обоснованы виды возобновляемых источников энергии, располагаемых на острове Русский и возможности их использования в составе интегрированной системы электроснабжения. В работе рассматривается и поддерживается концепция умных сетей (Smart Grid). Отмечено, что проблема мониторинга состояния и управления режимами такой интегрированной системы еще мало изучены.

Электроэнергетика передовых стран переживает смену технологической парадигмы. Рост тарифов на электроэнергию вследствие исчерпания потенциала роста эффективности централизованных энергосистем и отсутствия конкуренции на розничном рынке, неспособность высокоинерционных централизованных систем удовлетворить разнообразие спроса на энергию привело к нарастающему уходу потребителей от централизованного энергоснабжения к собственной генерации и развитию распределенной энергетики [1]. Эта тенденция подтверждается статистикой: за период с 2008 по 2015 годы было введено более 11,5 ГВт новых мощностей в электроэнергетике, из них 2,8 ГВт, или около 25% – распределенная генерация. Если учесть, что общая установленная мощность всех объектов генерации в России составляет 232 ГВт, а в 2013 году максимальная потребляемая мощность составила всего 160 ГВт и имеет тенденцию к уменьшению, дальнейший рост тарифов для обеспечения содержания все большего количества объектов централизованной электроэнергетики, работающих в режиме резервирования, становится неизбежным. Как следствие, возрастает вероятность снижения конкурентоспособности отечественной промышленной продукции до критического уровня, увеличиваются риски возникновения техногенных катастроф вследствие снижения надежности и качества работы энергосистемы России.

Одновременно с этим идет процесс формирования локальных энергосистем, которые успешно конкурируют с централизованной энергетикой за счет приближения производства электроэнергии к её потреблению, что снижает затраты на транспорт энергии (транспортная составляющая в тарифе на электроэнергию составляет до 70%), расширяя сферу экономической эффективности децентрализованного и даже индивидуального энергоснабжения. Необходимость развития энергетической инфраструктуры на малоосвоенных и удаленных территориях России (а это 2/3 всей территории страны) для эффективного продвижения на эти территории населения и бизнеса также мотивирует развитие распределенной энергетики.

Мировой опыт свидетельствует о том, что гармоничное взаимное развитие централизованной и распределенной энергетики возможно по следующим организационным и технологическим направлениям [2]:

- развитие технологий «Smart grid», или «умных сетей»;
- развитие гибридных комплексов с применением технологий ВИЭ;
- развитие новых моделей управления электроэнергетикой;
- развитие ICT (информационно-коммуникационных технологий).

Многие из этих проблем пока не решены даже в странах, где такие системы энергоснабжения получили достаточно широкое развитие.

Постановка задачи. Повышенный интерес к сети электроснабжения острова Русский как к потенциальной площадке для освоения новых технологий интеллектуальных сетей (Smart Grid) в российских энергосистемах обусловлен двумя обстоятельствами:

- удобным расположением острова на тихоокеанском побережье России с доступным для освоения потенциалом ветровой, солнечной и волновой энергетики;
- на острове Русский находятся Дальневосточный федеральный университет (ДФУ), который по замыслу некоммерческого партнерства «Распределенная энергетика», действующего под эгидой Минэнерго РФ, должен стать полигоном для отработки технических, коммерческих и информационных решений в области Smart Grid в России [3].

Для исследований использовались методы математического моделирования установленных и переходных режимов электроэнергетических систем, реализованные в ПК MATLAB/Simulink/SimPowerSystems. Сформированная расчетная схема сети электроснабжения острова Русский может стать базовой моделью для выбора структуры микроэнергосистемы или виртуальной электростанции. Создание такого энергетического и образовательного кластера на острове Русский будет способствовать освоению самых разнообразных технологий Smart Grid.

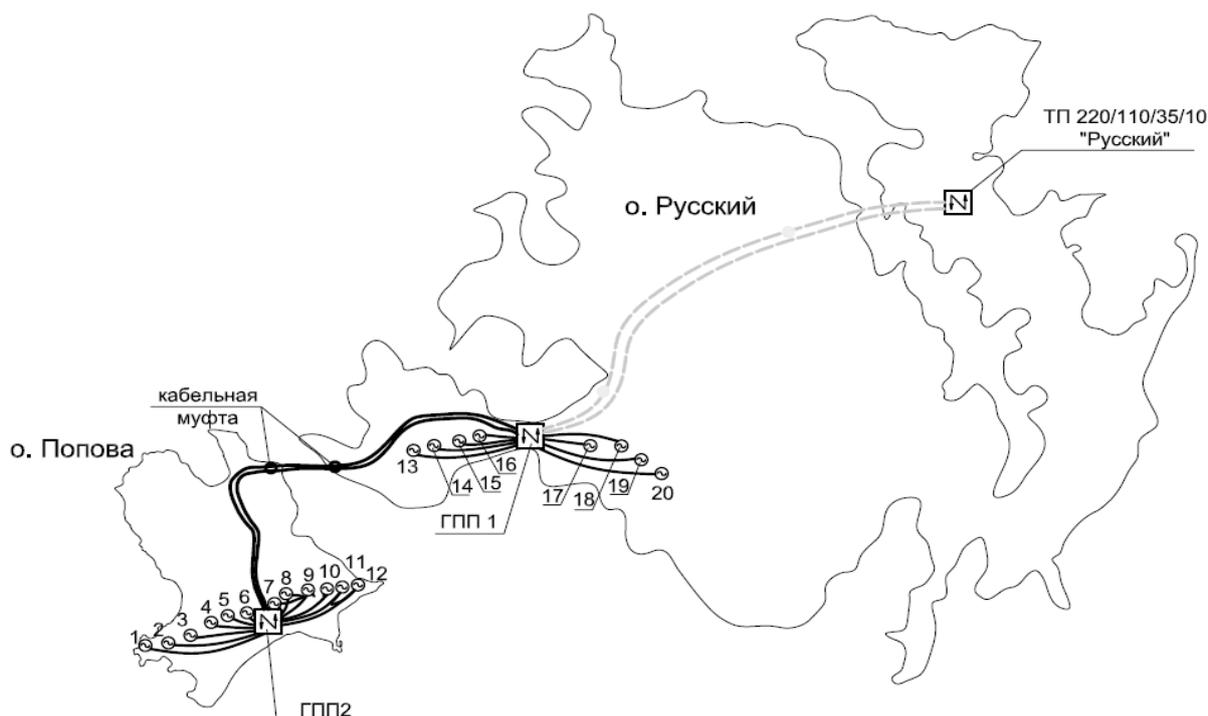


Рисунок 1 – Выдачи мощности к РУ-35кВ ПС «Русская»

Если будут осуществлены планы Открытое акционерное общество «РусГидро» по развитию предусматривается строительство новых объектов, «Дальневосточная ветроэлектростанция (ВЭС) на острове Русский (до 16 МВт) и острове Попова (до 20 МВт) г. Владивостока» [4], с целью обеспечения стабильного централизованного электроснабжения существующих и перспективных потребителей острова Русский и острова Попова. Схема выдачи мощности в сеть электроснабжения острова Русский показано на рисунке 1. В этом случае будет создана классическая система распределенной генерации, которая также требует адекватного математического моделирования.

Схема электроснабжения острова Русский. Одной из особенностей микроэнергосистемы острова Русский может стать возможность её использования в качестве средства автоматического предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ) в объединенной энергетической системе (ОЭС) Востока, например, специальной автоматики отключения нагрузки (САОН), с последующим действием на острова Русский устройств автоматической частотной разгрузки (АЧР). Поэтому математическая модель микроэнергосистемы должна адекватно отражать переходные процессы в распределенной генерации и быть встроена в модель большой энергосистемы.

В настоящий момент электроснабжение острова Русский происходит по ЛЭП 220 кВ от ОЭС Востока. Условия параллельной работы энергосистемы острова Русский с ОЭС Востока, а также условия аварийного отключения микроэнергосистемы от энергообъединения требуют дополнительных исследований. На этапе предварительного анализа динамических свойств энергокластера острова Русский, использована принципиальная схема, приведенная на рисунке 2.

Воздушные линии выполнены двухцепными, в отличие от кабельных линий электропередачи 35 кВ TL3 и TL4 и воздушной линии 110 кВ TL8. Тестовая расчетная схема создана на основе параметров сети электроснабжения, приведенных в таблице, где символ «G» – обозначает эквивалентную газотурбинную установку, а «D» – эквивалентный резервный дизель-генератор [5].

Таблица – Общая характеристика система электроснабжения острова Русский

Название станции	Генерация		Линия	
	Установленная мощность, МВт	Рабочая мощность, МВт	Обозначение линий	Длина линии, км
Северная-G	2×1,828	2×1,828	TL1	0,15
Северная-D	2×1	0	TL2	5
Центральная-G	5×7,04	3×7,04	TL3	1
Центральная-D	2×1	0	TL4	1
Океанариум-G	2×7,04	1×7,04	TL5	2
Океанариум-D	2×1	0	TL6	6
Коммунальная-G	2×1,5	2×1,5	TL7	3,7
Коммунальная-D	2×0,4	0	TL8	11,1
Ветропарк	36	36	TL9	4,7
Итого	98,7	91,9		

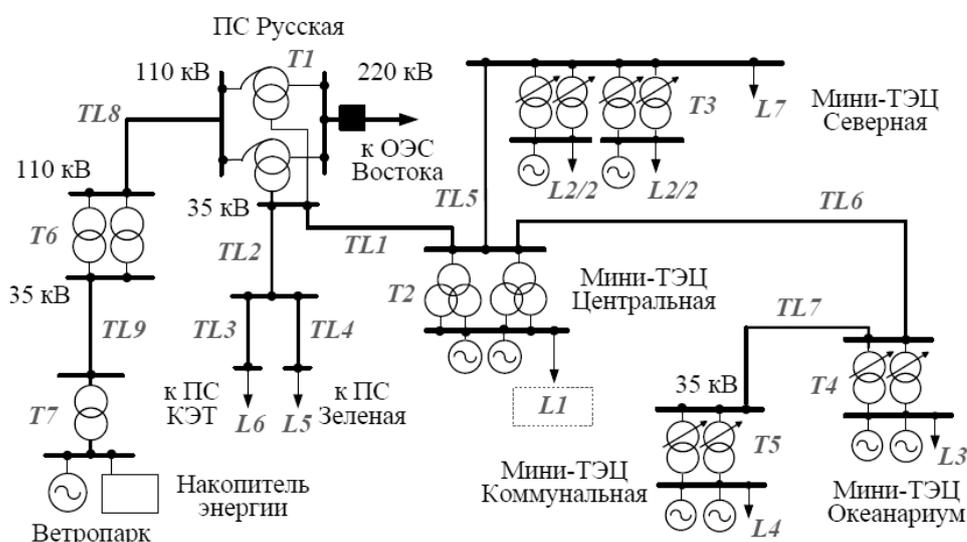


Рисунок 2 – Принципиальная схема системы электроснабжения острова Русский

Географическое расположение острова Русский и система его электроснабжения позволяют рассматривать остров Русский, как некоторую экспериментальную территорию для исследования концепций микроэнергосистемы с технологией Smart Grid и распределенной генерацией возобновляемых источников энергии. Это обусловлено тем, что этот регион известен своими хорошими возможностями развития солнечной, ветровой и волновой энергии. Наряду с этим перспективным направлением Smart Grid является также когенерация, то есть совместная выработка электрической и тепловой энергии с помощью газовых турбин и котлов утилизаторов. Управление должно осуществляться, как регулированием мощности генерирующих источников, так и управлением электропотреблением, что в целом позволяет создать мини Smart Grid систему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Манусов, В.З. Исследование вопроса интеграции ветровой генерации в работу новосибирской энергетической системы / В.З. Манусов, Ш.К. Халдаров // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2015. -№4. -С. 216-219.
- 2 Pehnt, M. Micro Cogeneration: Towards Decentralized Energy Systems / M. Pehnt, M. Cames, C. Fischer, B. Praetorius, L. Schneider, K. Schumacher, J.P. Voß. -Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. -356 p.
- 3 Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью / Под ред. академик В.Е. Фортова и А.А. Макарова. -М.: ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС», 2012. -235 с.
- 4 Проект Энергетической стратегии России на период до 2035 года. Москва. 2014. –Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1920>. -01.03.2017.
- 5 ОАО «Дальневосточная энергетическая управляющая компания» (ОАО «ДВЭУК»). -Режим доступа: <http://www.dveuk.ru/>. -01.03.2017.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: интеллектуальная энергосистема, система электроснабжения, математические моделирования, возобновляемые источники энергии, распределенная генерация
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «НГТУ»
Хасанзода Насрулло, аспирант ФГАОУ ВО «ДВФУ»
Ахьеев Джавод Саламшоевич, аспирант ФГБОУ ВО «НГТУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВО «НГТУ»
690950, г.Владивосток, ул.Суханова, 8, ФГАОУ ВО «ДВФУ»

МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»
БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет»
Нижневартовский филиал ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

**С.В. Горелов, С.М. Спирев, Ю.М. Денчик, М.Н. Иванов,
В.В. Рыжаков, Е.Ю. Кислицин**

EVENTS FOR DECREASE IN DAMAGES OF POWER LINES

Surgut state university
Nizhnevartovsk branch Omsk state technical university
Siberian state university of water transport
S.V. Gorelov, S.M. Spirev, Ju.M. Denchik, M.N. Ivanov, V.V. Ryzhakov, E.Yu. Kislicin

The reasons for an application of wireless communications on a line surge arresters monitoring are considered. Also this article describes the functional scheme of the diagnostic facilities, using the Zigbee technology for communications.

Keywords: wireless communications, Zigbee, leakage curren, surge arrester

Приведены обоснования использования беспроводной диагностики линейных ограничителей перенапряжений. Описана функциональная схема работы диагностического комплекса, использующего технологию Zigbee для передачи данных.

Основными элементами связи энергосистем являются воздушные линии электропередачи (ВЛ) классов напряжения 220, 330, 500, 750, 1150 кВ. Эти системообразующие и межсистемные ВЛ эксплуатируются преимущественно предприятиями ОАО «Федеральной Сетевой Компании Единой Энергосистемы» (ОАО «ФСК ЕЭС»). Общая протяжённость ВЛ, находящихся на балансе этой компании, превышает 40 тыс. км. Износ основных фондов электрических сетей составляет в среднем 40%. Однако, срок службы первых ВЛ 500 кВ – 45 лет и более, ВЛ 750 кВ – 30 лет и более

Средства компенсации реактивной мощности линий электропередачи выбирались в расчёте на значительное потребление реактивной мощности подключённой нагрузкой. В на-

чале 90-х годов прошлого века в связи со снижением электропотребления произошла значительная разгрузка линий электропередачи сверхвысокого напряжения (СВН). При этом предусмотренная проектами недокомпенсация привела к росту напряжения в ряде узлов основной сети, в частности в сети 500 кВ – до (540–545) кВ, в сети 750 кВ – до 800 кВ. Повышение напряжения вызывает усиленный износ главной изоляции и сокращение срока службы оборудования, ухудшение условий работы ограничителей перенапряжений, дополнительные потери энергии на корону и увеличение уровня помех в каналах связи. Для нормализации уровней напряжения на ряде подстанций были введены и продолжают устанавливаться шунтирующие реакторы, в том числе управляемые.

Распределительные сети от 35 до 220 кВ преимущественно находятся в ведении региональных электроэнергетических систем (ЭЭС). Общая протяжённость ВЛ указанных классов напряжения превышает 800 тыс. км.

Воздушные линии электропередачи вследствие большой протяжённости имеют огромное количество однотипных элементов, каждый из которых обладает своими показателями надёжности. Уровень повреждаемости элементов ВЛ определяется как свойствами конструкций, так и условиями их эксплуатации. По некоторым данным наблюдается примерно следующее число отказов (на 100 км/год):

– опоры стальные	0,027;
– опоры железобетонные.....	0,028;
– опоры деревянные.....	0,37;
– изоляторы.....	0,18;
– арматура.....	0,018;
– провода.....	0,25.

Основными причинами являются атмосферные и климатические воздействия. При этом 86% технологических нарушений произошло на ВЛ 110 кВ, имеющие наибольшую общую протяжённость, 11% – на ВЛ 220 кВ и 3% – на ВЛ 330, 500, 750 кВ. Значительная доля аварийных отключений ВЛ обусловлена повреждениями проводов и грозозащитных тросов (56%), изоляторов (19%) и опор (15%). Около 10% отключений ВЛ происходило вследствие повреждений арматуры и прочих элементов ВЛ. Удельный показатель технологических нарушений в работе составил в среднем на ВЛ 330 кВ – 0,44, на ВЛ 500 кВ – 0,21, а для нарушений, вызванных повреждением элементов, соответственно 0,15 и 0,06.

Основными факторами, приводящими к нарушению работоспособного состояния ВЛ и их повреждению, являются:

- несоответствие проектных решений фактическим климатическим условиям из-за недоучёта нормативных требований при проектировании ВЛ;
- неудовлетворительное техническое состояние элементов ВЛ: неустранённые дефекты металлоконструкций опор, фундаментов, креплений оттяжек, дефектов железобетонных опор;
- неудовлетворительное состояние трасс ВЛ и прилегающих к ним лесных массивов, невырубленных деревьев, угрожающих падением на провода, уменьшённая по сравнению с требованиями ширина просек, недоучёт естественного роста деревьев в период эксплуатации, отсутствие правовых оснований для дополнительной вырубке деревьев вдоль трасс и для взаимоотношений с владельцами лесных угодий;
- несовершенство молниезащиты, обусловленное несовершенством нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН), являющихся одним из основных средств ограничения грозовых перенапряжений.

Тема защиты изоляции ВЛ при помощи ограничителей перенапряжений (ОПН) в России достаточно нова. В 2011 году в ОАО «ФСК ЭЭС» принята комплексная программа по повышению грозоупорности магистральных воздушных линий электропередач. На первом этапе предполагается в течение 2011-2015 годов повысить грозоупорность линий электропередач напряжением от 220 до 500 кВ включительно за счет применения ОПН. Для энергетических компаний отключение крупных линий обходится слишком дорого и поэтому актуальность темы повышения грозоупорности линий и надёжности энергоснабжения потребителей не вызывает сомнения.

Ограничители перенапряжений устанавливаются на опорах ВЛ параллельно подвесным изоляторам и предотвращают их перекрытие при возникновении грозовых и коммутационных перенапряжений.

Для подстанционных ограничителей тема диагностики проработана достаточно хорошо.

Существуют различные приборы для контроля тока утечки ограничителей, проработаны методики измерений. В этом случае оперативный персонал с требуемой периодичностью производит измерение тока утечки для дальнейшего анализа. Данный способ получил широкое распространение ввиду его относительной дешевизны. Однако ему присущ и очевидный недостаток ввиду малой периодичности измерений. Как правило – это раз в год перед грозовым сезоном. Существуют и системы непрерывного мониторинга тока утечки. На сегодняшний день данный метод большого распространения не получил во-первых потому что он дороже, а во-вторых – реализован он был относительно недавно [1-3].

Однако, ни один из существующих методов диагностики ограничителей нельзя в полной мере применить к ОПН, установленным на ВЛ, ввиду их значительной протяженности.

Поэтому и родилась идея использовать современную элементную базу для построения беспроводного диагностического комплекса. Предполагается, что диагностический комплекс будет состоять из автономных измерительных постов и пульта сбора данных.

Измерительные посты предназначены для измерения тока утечки ОПН и передачи данных на пульт сбора данных для дальнейшего анализа и сохранения. Последовательно каждому диагностируемому ограничителю перенапряжений устанавливается измерительный пост – устройство, сочетающее в себе функции измерительного прибора и приемопередающего устройства.



Рисунок 1 – Беспроводный диагностический комплекс

Фотография диагностического комплекса, состоящего из трех измерительных постов и пульта сбора данных, приведена на рисунке 1. В отличие от известных типов устройств мониторинга измерительные посты могут связываться по протоколу ZigBee как с пультом сбора данных, так и между собой. Результаты измерений передаются по протоколу ZigBee от одного измерительного поста к другому по цепочке вдоль ВЛ, вплоть до пульта сбора данных, установленного на подстанции. В качестве пульта сбора данных используется персональный компьютер с подключенным по USB-кабелю приемопередающим блоком. Накопление, отображение, анализ и архивирование полученных результатов измерений происходит на персональном компьютере при помощи специального программного обеспечения.

Работа измерительного поста. Функционирует измерительный пост 1 следующим образом (рисунок 2). Сигнал, пропорциональный общему току проводимости диагностируемого ограничителя перенапряжений 4, подается с трансформатора тока 6 на блок усилителей 8.

Аналого-цифровой преобразователь микроконтроллера 10 переводит данный сигнал в цифровую форму, осуществляет необходимую обработку и при помощи приемопередающего модуля 11 передает полученные результаты либо на следующий измерительный пост, либо на пульт сбора данных. Блок усилителей 8 используется для приведения выходного уровня сигнала трансформатора тока 6 к рабочему диапазону аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера 10. Блок опорных напряжений 9 выдает на микроконтроллер 10 высоко-стабилизированные напряжения, определяющие рабочий диапазон аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера 10.

Напряжение с низковольтного варистора 5 используется в качестве источника энергии, которое преобразуется в блоке питания 7 в постоянное напряжение 3,3 В, используемое для питания всей электронной части измерительного поста. Такое решение позволяет отказаться от аккумуляторов, что позволяет повысить надежность работы устройства в целом, так как аккумуляторы имеют недостаточный для применения в данном устройстве рабочий температурный диапазон. Кроме того, аккумуляторы необходимо периодически заменять ввиду их разряда и сульфатации, что неудобно при расположении измерительных постов вдоль по линии длиной несколько сотен километров.

Измерительный пост подключается последовательно диагностируемому ОПН, поэтому

в процессе эксплуатации подвергается тем же самым воздействиям, что и ОПН, а значит должен быть способен выдерживать их без повреждений. Наибольшую опасность для измерительного поста, а точнее для электронных компонентов представляют импульсные воздействия, которые с одной стороны могут наводить в замкнутых контурах значительные токи, а с другой стороны – могут наводить значительные разности потенциалов. В конструкции измерительного поста предусмотрены различные технические решения для снижения влияния больших импульсных токов на электронную начинку измерительного поста.

Работа пульта сбора данных (рисунок 3). Пульт сбора данных 3 имеет в своем составе блок USB-интерфейса 12, микроконтроллер 13 и приемопередающий модуль 14. Микроконтроллер 13 при помощи приемопередающего модуля 14 организует двухстороннюю связь между программным обеспечением, расположенном на персональном компьютере 2, и цепочкой измерительных постов. От программного обеспечения к измерительным постам исходят команды, а в обратном направлении поступают результаты измерений.

Программное обеспечение используется для обработки, отображения и сохранения полученных результатов измерений и по каждому диагностируемому ОПН.

Работа диагностического комплекса в сборе. Диагностический комплекс работает следующим образом. После окончания монтажных работ по подключению измерительных постов последовательно диагностируемым ограничителям и включения воздушной линии под рабочее напряжение через ограничители начинает протекать ток порядка 0,3-2,5 мА. Блок питания измерительных постов начинает заряжать накопительные емкости и через некоторое время напряжение достигнет 2,8 В, при котором начинают работать все блоки измерительного поста. Измерительные посты находятся в состоянии приема сигналов и готовы к работе.

Главное программное обеспечение, расположенное на персональном компьютере, производит настройку параметров сети и запускает цикл опроса измерительных постов. Необходимо заметить, что пульт сбора данных напрямую связывается только с несколькими первыми измерительными постами в цепочке. В дальнейшем команды головного программного обеспечения передаются по цепочке от одного измерительного поста к другому вплоть до последнего.

Запуская цикл опроса измерительных постов, головная программа в качестве дополнительных параметров передает значения частоты дискретизации, количество точек и т.д. Эта команда распространяется вдоль по цепочке измерительных постов, то есть, получив команду, измерительный пост передает ее дальше по цепочке и затем приступает к ее выполнению.

В обратном направлении, также по команде головной программы, собираются, обрабатываются и хранятся результаты измерений. Обработка заключается в вычислении действующего значения, амплитуды, а также величины третьей гармоники полного тока проводимости ОПН.

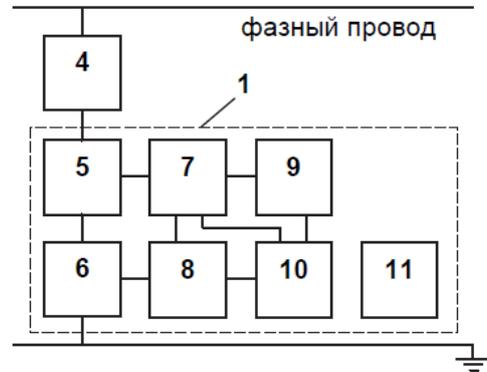


Рисунок 2 – Блок-схема измерительного поста

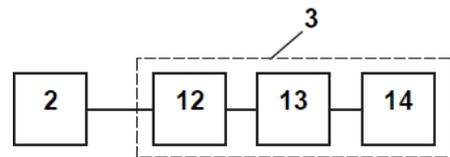


Рисунок 3 – Блок-схема пульта сбора данных

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Горелов, С.В. Применение технологий беспроводной передачи данных в системах мониторинга линейных ограничителей перенапряжений / С.В. Горелов, С.М. Спирев и др. // Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2012. -№2. -С. 236-239.
 2 Кручинин, М.А. Опытно-промышленные испытания беспроводного диагностического комплекса линейных ограничителей перенапряжений / М.А. Кручинин, И.Г. Мироненко, М.В. Рябов // Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2012. - №2. -С. 235-236.
 3 Состояние электрических сетей северных месторождений нефти в свете концепции Smart Grid (часть 1): отчёт о НИР (промежуточ.): т/б -11. -№ГР 01.88.0004137. -Инов. №АААА-Б17-217030370229-6. / ФГБОУ ВО «Сиб. гос. унив. водн. трансп.»; руков. Горелов В.П. -Новосибирск: [б.п.], 2017. -188 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: беспроводная передача данных, ZigBee, ток утечки, ограничитель перенапряжений
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Горелов Сергей Валерьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Спирев Сергей Михайлович, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Иванов Михаил Николаевич, канд. техн. наук, докторант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Рыжаков Виталий Владимирович, канд. физ.-мат. наук, доцент БУ ВО «СурГУ»
Кислицин Евгений Юрьевич, канд. техн. наук, доцент Нижневартковский филиал ФГБОУ
ВПО «ОмГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»
628012, г.Ханты-Мансийск, ул.Ленина, 54/1, БУ ВО «СурГУ»
628600, Тюменская область, (ХМАО-Югра), г.Нижневартовск, Западный промышленный
узел, Панель 14, ул.Индустриальная, 46, Нижневартковский филиал ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

ЭВОЛЮЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»
ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм.
Г.И. Невельского»

А.Ф. Бурков, В.Ф. Веревкин

EVOLUTION OF CHEMICAL SOURCES OF ELECTRIC ENERGY
Far Eastern federal university
Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
A.F. Burkov, V.F. Verevkin

The article presents information on the origin and development of chemical power sources.

Keywords: current source, electrical energy, galvanic cell, battery

Приведены сведения о возникновении и развитии химических источников тока.

Практически до середины XVIII в. развитие источников электрической энергии (ЭЭ) во многих случаях осуществлялось не системно и сопровождалось в ряде случаев противоречиями.

Итальянский физик и физиолог А.Г.А.А. Volta (1745-1827 гг.) [1] отмечал, что при соприкосновении двух различных металлов возникает «электровозбудительная» сила, под действием которой электричество одного знака сосредоточивается на одном из металлов, а противоположного знака – на другом. В 1799 г. А. Вольта, не поняв истинной причины возникновения электрического тока, создал гальваническую батарею – вольтов столб, принцип действия которого был основан на превращении химической энергии в ЭЭ [2]. Предположительно напряжение вольтова столба составляло (40-50) В, а ток – менее 1 А [1].

Французский ученый D.F. Arago (1786-1853 гг.) [3] писал: «...знаменитый профессор придумал составить столб из кружков медного, цинкового и мокрого суконного...этот столб из разнородных металлов, разделенных небольшим количеством жидкости, составляет снаряд, чуднее которого никогда не изобретал человек. Я осмелился бы сказать, что вольтов столб есть чудеснейший снаряд из всех человеческих изобретений...» [1].

Классик марксизма-ленинизма F. Engels (1820-1895 гг.) [4] отмечал: «...Открытие гальванического тока имеет для учения об электричестве, по меньшей мере, такое же значение, как открытие кислорода для химии...» [5]. Немногим позднее рядом ученых были разработаны различные батареи из гальванических элементов.

Несмотря на проведенные до конца XVIII в. исследования в области источников ЭЭ, объем теоретических и практических сведений был недостаточен для того, чтобы использовать применение этой энергии для удовлетворения нужд человечества.

Единственным источником ЭЭ «...где уже имелось «готовое» электричество больших мощностей, тогда была природа...» [6].

В XIX в. развитие источников ЭЭ осуществлялось по нескольким направлениям. В 1802 г. немецкий физик J.W. Ritter (1776-1810 гг.) изобрел сухой гальванический элемент [1].

В том же 1802 г. русский физик и электротехник В.В. Петров (1761-1834 гг.) [7] создал вольтов столб («la pile, la colonne de Volta») [8], который включал в себя около 2100 медно-цинковых гальванических элементов, соединенных последовательно, и был способен создавать электродвижущую силу (ЭДС) около 1700 В. Длина батареи составляла 12 м, а мощность заключалась в пределах 60-85 Вт [2]. С помощью вольтова столба В. Петров провел ряд опытов, которые описаны в его книге, изданной в 1803 г. и представленной в [8].

В 1808 г. английский ученый Н. Davy (1778-1829 гг.) [3] создал один из самых мощных

вольтовых столбов того времени, состоящий из 2000 гальванических элементов. Благодаря этой батарее он повторил (а не открыл, как указывается в некоторых литературных источниках) опыты В. Петрова, связанные с возникновением электрической дуги [2, 9].

В начале XIX в. была установлена принципиальная возможность аккумулярования ЭЭ, что впоследствии явилось основой для создания и развития другого направления в области электрохимических источников тока – электрических аккумуляторов (вторичных элементов).

В 1826 г. итальянский физик L. Nobili (1784-1835 гг.) [3] «...показал, что при помощи тока на свинцовой пластинке, соединенной с анодом, можно получить слой перекиси свинца...» [10].

Однако, несмотря на достижения в области создания и развития источников ЭЭ, одной из основных причин, препятствующих практическому использованию ЭЭ в тот временной период, являлось отсутствие экономически эффективных и относительно мощных источников ЭЭ. К основным недостаткам гальванических элементов того времени относились нестабильность и кратковременность их работы и др.

Основную причину нестабильной работы гальванических элементов открыл в 1826 г. французский ученый A.S. Vesquerele (1788-1878 гг.) [3]. Она заключалась в явлении гальванической поляризации, обусловленной скоплением пузырьков водорода у поверхности медных электродов.

К 1829 г. А. Беккерель гальваническую батарею, в которой происходили реакции, поглощавшие выделяющийся водород. Батарея включала в себя сосуд, разделенный на две части пористой перегородкой. В одну часть в раствор медного купороса был помещен медный электрод, а во вторую в раствор поваренной соли – цинковый электрод [2, 3].

В 1830 г. английский изобретатель W. Sturgeon (1783-1850 гг.) [1] разработал технологию изготовления пластин из амальгамированного цинка для гальванических элементов.

Ориентировочно в 1836 г. появился элемент английского ученого и изобретателя J.F. Daniell (1790-1845 гг.) [3]. Этот источник ЭЭ состоял из стеклянного сосуда, который был разделен на две части пористой перегородкой «...из неглазурованного фарфора...» [10]. В одну часть элемента, наполненную раствором медного купороса, был помещен медный цилиндр, а во вторую, в слабый раствор серной кислоты, – цинковый цилиндр из амальгамированного цинка [3]. Разность потенциалов этого элемента составляла около 1 В. По сравнению с ранее созданными, элемент Даниэля отличался повышенным постоянством действия.

С целью получения большей стабильности работы отечественный ученый, немец по национальности, Б.С. Якоби (M.H. Jacobi) (1801-1874 гг.) [1] проводил исследования с элементами Даниэля, по результатам которых он создал конструкцию медно-цинкового гальванического элемента, применив в качестве деполяризатора насыщенный раствор медного купороса и окружив цинковый электрод средой из слабого раствора хлористого аммония или нашатырного спирта [11].

В [12] отмечено: «...Якоби...впервые правильно объяснил роль электролитов в медно-цинковом элементе, предложил замену серной кислоты раствором хлористого аммония и устройство элемента, обеспечивающего снижение его внутреннего сопротивления... Б.С. Якоби является, таким образом, соавтором цепи, которая справедливо именуется элементом Даниэля-Якоби...».

Английский физик W.R. Grove (1811-1896 гг.) в 1838 г. изобрел элемент, представляющий «...стеклянную банку, в которую помещался свернутый...лист цинка. В него ставился цилиндр из... глины...внутри этого цилиндра опускалась платиновая пластина. Наружный сосуд наполнялся разведенной серной кислотой, а внутренний – концентрированной азотной кислотой...» [13]. Элемент Грове обеспечивал напряжение почти вдвое больше, чем элемент Даниэля [1].

Грове является автором и другого элемента, являющегося одним из предшественников современных аккумуляторов, «газовой батареи» [1].

Примерно в 1840 г. немецкий химик R.W. Bunzen (1811-1899 гг.) [1] создал элемент, аналогичный элементу Даниэля «...но с заменой раствора медного купороса азотной кислотой, а медного анода – угольным...». ЭДС элемента составляла около 1,9 В. «...Гровэ...несколько раньше Бунзена (1838 г.), предложил...конструкцию, но вместо угольного анода он брал платиновый...» [10].

Необходимо отметить, что в это время имели место заблуждения в понимании некоторых процессов, происходящих в гальванических источниках ЭЭ, и для их осмысления пона-

добилось определенное время.

Основными недостатками электрохимических источников ЭЭ того времени были большие массо-размерные показатели, малый срок их эксплуатации, низкая стабильность работы и др.

Несмотря на это, в первой половине XIX в. электрохимические элементы были основными практически пригодными источниками ЭЭ.

В 1847 г. Б.С. Якоби создал контрбатарею, которая «...имела платиновые электроды, на которых можно накопить лишь ничтожные количества ЭЭ...» [5].

В 1854 г. немецкий врач В.И. Зинстеден (1803-1891 гг.) [14] вплотную приблизился к созданию аккумулятора [15].

В 1856 г. по мысли немецкого физика J.C. Poggendorff (1796-1877 гг.) был изготовлен хромокислый элемент Гренэ [16]. «...Элемент состоит из цинка и угля, опущенных в раствор двуххромовокислого калия и серной кислоты. Этот элемент находит широкое применение, когда нужно иметь сильный ток на непродолжительное время. Вынимающиеся из общей станины стеклянные плоские сосуды для хромовой жидкости, могут быть удалены, если нужно получить ток от меньшего числа элементов...». ЭДС этого элемента с хромовой жидкостью достигала 2 В [10].

В 1859 г. немецкий физик Н. Meidinger (1831-1905 гг.) создал гальванический элемент, который представлял собой видоизмененный элемент Даниэля. Медный купорос, как и в элементе Даниэля, служил деполяризатором. ЭДС элемента составляла около 1,6 В [1].

Французский физик R.L.G. Planté (1834-1889 гг.) [3] в 1859 г. заинтересовался сообщением Б. Якоби Парижской академии наук, об усовершенствовании изобретенной им в 1847 г. контрбатареи. Используя предшествующие наработки, Планте сконструировал «...прибор, развивающий поляризованный ток – аккумулятор...» [10].

В 1861 г. был создан элемент Калло. «...К верхнему краю стеклянного сосуда подвешивается цинковый катод. Свинцовый анод лежит на дне сосуда. Купорос в кристаллах насыпается слоем на дно, а сверху наливают раствор цинкового купороса». ЭДС этого элемента соответствовала ЭДС элемента Мейдингера [24].

Французский ученый G. Leclanche (1839-1882 гг.) [17] в 1868 г. изготовил элемент, который, как и элемент Гренэ, принадлежал к элементам с одной жидкостью. «...В угловое уширение стеклянного сосуда опускается сплошной цинковый цилиндр. Пористый сосуд, помещенный внутри стеклянного, наполнен перекисью марганца, окружающей уголь. Жидкость в элементе Лекланше – раствор нашатыря, перекись марганца служит деполяризатором...». ЭДС свежеприготовленного элемента Лекланше составляла 1,45 В, но с течением времени быстро снижалась [17].

В 1869-1870 гг. русский физик и электротехник Д.А. Лачинов (1842-1902 гг.) [18], видоизменив элемент Бунзена, сконструировал новый тип гальванического элемента, отличающийся от существующих элементов более быстрой зарядкой и малым внутренним сопротивлением, то есть возможностью генерировать большую силу тока.

Таким образом, на XIX в. приходится активное продолжение работ по созданию и совершенствованию гальванических элементов.

Гальванические элементы в настоящее время рассматриваются не только с точки зрения истории возникновения и развития источников ЭЭ, но и как практически используемые устройства.

Устройства на базе гальванических элементов оказались более пригодными в дальнейшем для слаботочных электрических цепей.

Еще до 1881 г. Д. Лачинов начал исследования по «вторичным генераторам».

В 1882 г. французский изобретатель К. Фор усовершенствовал аккумулятор Планте [15]. Разность потенциалов аккумулятора составляла около 2 В, а сила тока на каждый квадратный метр поверхности – около 1 А.

Количество электричества, отдаваемого аккумулятором при разряде, составляло от 70 до 90% полученного при зарядке [1].

Аккумуляторные батареи как источники ЭЭ нашли применение в конце XIX в. для больших двигателей и пр. Их удобством являлась возможность получения тока в любой момент времени. К недостаткам следует отнести высокую стоимость, значительный вес [10].

Кроме того, недостатком аккумуляторов Планте и Фора являлась долгая их подготовка (формирование), обусловленная медленным образованием слоя перекиси свинца и губчатого свинца.

По результатам исследований Д.А. Лачинов предложил покрывать пластины свинца особым тестом, состоящим из перекиси свинца и металлического свинца в состоянии мельчайшего раздробления. При этом на аноде образуется перекись, а на катоде – тестообразный слой металлического свинца, который при сушке превращается в порошок, а при сжатии дает губчатый свинец [1].

В 1882 г. русский ученый Н.И. Кабат [1] с целью увеличения поверхности аккумуляторных пластин предложил их гофрирование.

Таким образом, большинство принципиальных вопросов, касающихся разработки и создания электрохимических источников ЭЭ – аккумуляторов, были решены до конца XIX в.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бурков, А.Ф. История отечественных судовых электроприводов / А.Ф. Бурков. -Владивосток: Дальневост. гос. техн. рыбохоз. унив., 2008. -380 с.
- 2 Веселовский, О.Н. Энергетическая техника и ее развитие / О.Н. Веселовский, Я.А. Шнейберг. -М.: Выс. шк., 1976. -304 с.
- 3 Яроцкий, А.В. Борис Семенович Якоби. 1801-1874 / А.В. Яроцкий. -М.: Наука, 1988. -240 с.
- 4 Большая советская энциклопедия: в 30 т. / Изд. 3-е: Т. 30. -М.: Советская энциклопедия, 1978. -632 с.
- 5 Энгельс, Ф. Диалектика природы. Электричество / Ф. Энгельс. -М.: Политиздат, 1982. -360 с.
- 6 Данилевский, В.В. Русская техника / В.В. Данилевский. -Изд. 2-е. -Л.: Лениздат, 1949. -548 с.
- 7 Голован, А.Т. Электротехнический справочник: в 3 т. / под ред. А.Т. Голована и др. -Изд. 3-е; Т. 1. -М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962. -732 с.
- 8 Петров, В.В. Избранные труды по электричеству / В.В. Петров, Т. Гроттгус, Ф.Ф. Рейс, П.И. Страхов, А.Т. Болотов, В.Д. Тепелнев; под ред. Л.Д. Белькинда. -М.: Гос. изд-во техн.-теоретич. лит-ры, 1956. -300 с.
- 9 Брон, О.Б. Электрическая дуга в аппаратах управления / О.Б. Брон. -М.; Л.: Госэнергоиздат, 1954. -532 с.
- 10 Магнетизм, электричество, гальванизм, индукция / [б. а.]. -[Б. м., б. и.], [1908] -196 с.
- 11 Jacobi, M.H. Extrait d'une lettre de M. le professeur Jacobi a Dorpat à M. Lenz / M.H. Jacobi // Bull. Sci. St.-Pbg., 1837. -Т. 2. -С. 60-64.
- 12 Фрумкин, А.Н. Работы Б.С. Якоби в области химических источников тока / А.Н. Фрумкин, А.Д. Обручева // -Электричество. -1953. -№2. -С. 71-74.
- 13 Иванов, Б.И. История развития электротехники в Санкт-Петербурге / Б.И. Иванов, Л.М. Вишневецкий, Л.Г. Левин. -СПб.: Наука, 2001. -208 с.
- 14 Техника в ее историческом развитии (70-е годы XIX -начало XX в.) / отв. ред. С.В. Шухардин, Н.К. Ламан, А.С. Федоров. -М.: Наука, 1982. -511 с.
- 15 АкТех / Аккумуляторная энциклопедия. -Режим доступа: <http://www.aktex.ru/rus/directory>. -25.05.2017.
- 16 Изгарышев, Н.А. Электротехника и ее техническое применение / Н.А. Изгарышев. -Л.: НХТИ, 1929. -412 с.
- 17 Georges Leclanché. -Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Georges_Leclanché. -20.05.2017.
- 18 Ржонсницкий, Б.Н. Дмитрий Александрович Лачинов / Б.Н. Ржонсницкий. -М.; Л.: Госэнергоиздат, 1949. -107 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: источник тока, электрическая энергия, гальванический элемент, аккумулятор

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Бурков Алексей Федорович, докт. техн. наук, профессор ФГАОУ ВО «ДВФУ»
Веревкин Владимир Федорович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690950, г.Владивосток, ул.Суханова, 8, ФГАОУ ВО «ДВФУ»
690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЧИСЛА СРАБАТЫВАНИЯ УСТРОЙСТВА СБРОСА ГОЛОЛЕДА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

**В.П. Горелов, Ю.М. Денчик, Е.В. Иванова, В.Г. Сальников,
Н.А. Рыковский, Д.М. Иванов**

MONITORING SYSTEM OF NUMBER OF OPERATION OF THE DEVICE OF DUMPING OF ICE

Siberian state university of water transport

V.P. Gorelov, Ju.M. Denchik, E.V. Ivanova, V.G. Sal'nikov, N.A. Rykovskiy, D.M. Ivanov

The preliminary test of deicer wireless monitoring system are viewed. General description of deicer and the wireless monitoring system sensor actions are given.

Keywords: wireless communications, cleaning of wire, reset the ice, deicer

Описаны предварительные испытания беспроводной системы мониторинга устройства сброса гололеда. Приведено общее описание устройства и принципов работы измерительного поста беспроводной системы мониторинга.

Система мониторинга числа срабатываний устройства сброса гололеда в настоящее время разрабатывается в соответствии с государственным контрактом №16.526.11.6015 от 22 мая 2012 г. «Разработка и создание опытных образцов устройств для высоковольтных

воздушных линий электропередачи на базе изолирующих траверс, предназначенных для удаления гололеда и подобных явлений с проводов». Как указано в [1-3] ООО «ЭЛЕКТРОМАШ» в рамках данной ОКР предложила оригинальный никем ранее не применяемый способ борьбы с гололедом и подобных явлений на проводах линий электропередач (ЛЭП). Он заключается в использовании специального устройства возбуждения колебаний (УВК) включенного в состав изолирующей траверсы.

Срабатывание устройства происходит при достижении усилия, воздействующего на УВК, определенного значения. При этом подвижный шток УВК, а вместе с ней и вся траверса совершает поступательное движение вниз вплоть до цилиндрического корпуса. Происходит удар штока о корпус устройства, в результате которого возникают первые повреждения гололедной муфты на проводе, а возникшие колебания провода приводят к последующей его очистке. При удачном сбросе гололеда, возврат штока в исходное положение происходит при помощи возвратной пружины. Благодаря этому, УВК имеет свойство самовзведения, то есть после сброса гололедной муфты устройство возвращается в исходное положение и готово к дальнейшему использованию.

Для наблюдения за работой УВК, установленных на линии разработана система мониторинга, состоящая из нескольких (в зависимости от количества изолирующих траверс, оснащенных УВК) измерительных постов, и пульта сбора данных.

На каждой изолирующих траверсе, оснащенных УВК, закрепляется небольшое электронное устройство, которое сочетает в себе функции акселерометра и радиопередатчика *измерительный пост*.

В качестве пульта сбора данных используется персональный компьютер с установленной головной программой и с подключенным по USB-кабелю приемо-передающим блоком. Пульт сбора данных устанавливается на подстанции.

Измерительные посты могут связываться как с пультом сбора данных, так и между собой. В предлагаемом устройстве результаты измерений передаются от одного измерительного поста к другому по цепочке вдоль воздушной линии (ВЛ), вплоть до пульта сбора данных, установленного на подстанции. Головная программа периодически опрашивает измерительные посты и собирает информацию о срабатывании УВК. Накопление, отображение, анализ и архивирование полученных результатов измерений происходит на персональном компьютере.

Методика определения факта срабатывания, которая применена в системе мониторинга, достаточно проста. В исходном состоянии контроллер, частью которого является акселерометр, находится в спящем режиме. После срабатывания УВК траверса какое-то время (от 1 до 2 с) двигается с ускорением, близким у ускорению свободного падения. Это является сигналом для выхода контроллера из спящего режима, после чего он с определенной частотой начинает измерять ускорение, с которым двигается шток. По окончании цикла измерения программное обеспечение сохраняет результаты во внутренней памяти и вновь переходит в спящий режим.

Основная проблема, возникающая при разработке устройство мониторинга числа срабатываний УВК – это проблема сбора информации с объектов, распределенных через относительно небольшие промежутки (200-300 м) на значительных расстояниях (100-200 км). Основная идея для решения данной проблемы состоит в том, что результаты измерений передаются от одного измерительного поста к другому по цепочке вдоль ВЛ, вплоть до пульта сбора данных, установленного на подстанции.

После обработки полученных от измерительных постов результатов измерений, головная программа анализирует их и определяет, во-первых, сам факт срабатывания УВК, а во-вторых – факт возврата штока УВК в исходное положение или его «повисание» с соответствующим отображением и архивированием результатов.

Предварительные испытания. На данном этапе работы основной целью предварительных испытаний являлась апробация работы системы мониторинга, состоящего из одного измерительного поста и пульта сбора данных. В основном апробация касалась системы измерения ускорения, так как система передачи информации была отработана в предыдущих работах [2].

Датчик срабатываний крепился в точке подвеса провода на траверсе полимерной опоры на высоте около 2 м, как показано на рисунке 1.

Нагружение траверсы производилось с помощью бетонных блоков, несимметрично установленных на опору качения. Торец перевешивающей части бетонных блоков находился

под точкой крепления к траверсе и крепился через захват струбциной к цепи, закрепленной на точке подвеса траверсы через динамометр.

После этого балка поднималась с помощью талрепа. В нагруженном состоянии домкратился противоположный от точки крепления торец балки. Механизм срабатывал примерно на 12 кН. При рабочем ходе УВК, бетонный блок срывался с крепления и механизм возвращался в исходное состояние.



Рисунок 1 – Подготовленная к испытаниям траверса (а) и закрепленный измерительный пост (б)

Для оценки работоспособности датчика была разработано специальное программное обеспечение с расширенной функциональностью. Кроме определения факта срабатывания УВК, проводилась запись графика ускорений по 160 точек на каждую из трех координат с последующей передачей головной программе, установленной на ноутбуке в автоматическом режиме.

Был произведен ряд опытов, в которых варьировалась частота регистрации и рабочий диапазон измерения ускорения. Одна из полученных осциллограмм приведена на рисунке 2.

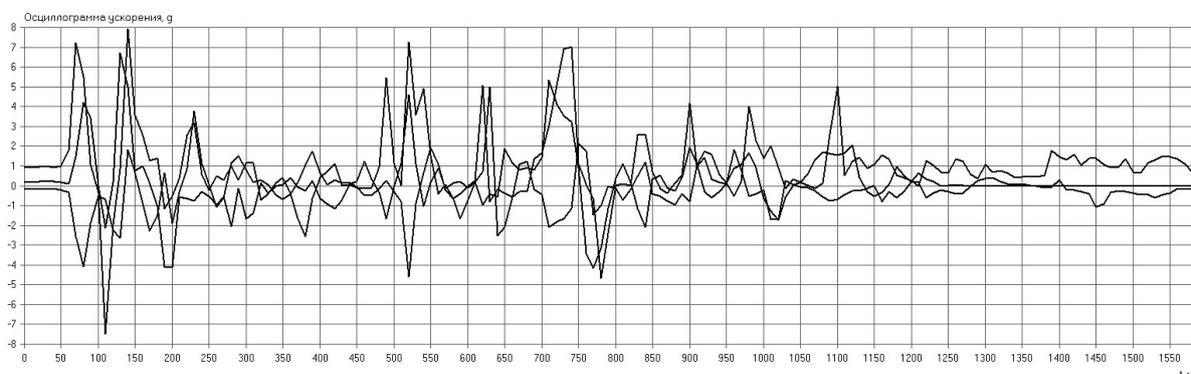


Рисунок 2 – Полученные при испытании осциллограммы ускорений по трем осям

В целом результаты апробации можно считать положительными. Измерительный пост устойчиво выходил из спящего режима, измерял ускорение по трем осям с заданной частотой и передавал результаты измерений головной программе.

В результате предварительных испытаний были получены следующие результаты:

- измерительный пост устойчиво выходил из спящего режима, измерял ускорение по трем осям с заданной частотой и передавал результаты измерений головной программе;
- время срабатывания УВК конструкции, которая была использована при испытании не превышает 1,5 с;

– изучая полученные осциллограммы, можно выделить характерные участки движения штока с ускорением, близким к ускорению свободного падения, участок удара штока о корпус при движении вниз и участок удара штока при движении вверх (при возврате УВК в исходное положение). Таким образом, анализируя результаты измерений, можно судить о факте срабатывания УВК, а также о его возврате в исходное положение или его «повисание» в нижней точке;

– крепление измерительного поста к траверсе требует доработки для снижения шумов осциллограммы из-за беспорядочных движений измерительного поста при срабатывании УВК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Горелов, С.В. Инновационный опытно-конструкторский проект, направленный на повышение надежности и долговечности воздушных линий электропередачи / С.В. Горелов, Г.А. Данилов, П.Г. Шушара // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. - 2013. -№1.-С. 380-382.

2 Кручинин, М.А. Опытнo-промышленные испытания беспроводного диагностического комплекса линейных ограничителей перенапряжений / М.А. Кручинин, И.Г. Мироненко, М.В. Рябов // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2012. -№2. -С. 235-236.

3 Горелов, В.П. Предварительные испытания системы мониторинга числа срабатывания устройства сброса гололеда / В.П. Горелов, М.А. Кручинин и др. // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2013. -№1.-С. 377-380.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *беспроводная связь, очистка проводов, сброс гололеда, устройство сброса гололеда*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Горелов Валерий Павлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Иванова Елена Васильевна, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Сальников Василий Герасимович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Рыковский Никита Андреевич, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Иванов Дмитрий Михайлович, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»

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

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЗМОВ

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»
ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм.
Г.И. Невельского»

А.Ф. Бурков, В.Ф. Веревкин

STRUCTURAL DIAGRAM OF SHIPS ELECTRIC MECHANISMS

Far Eastern federal university

Maritime state university named after G.I.Nevelskoi

A.F. Burkov, V.F. Verevkin

Electric drives are among the most numerous and diverse of marine electrical devices. The paper presents a structural diagram of ship's electric drives.

Keywords: electric drive, block diagram, electric motor, control system

Электроприводы относятся к самым многочисленным и разнообразным судовым электротехническим устройствам. В работе представлена разработанная структурная схема судовых электроприводов.

Современные электроприводы (ЭП) механизмов представляют собой электромеханические системы различной сложности, состоящие, в общем случае, из взаимодействующих преобразователей электрической энергии, электромеханических и механических преобразователей, управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения с внешними электрическими, механическими, управляющими и информационными системами, предназначенные для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением в целях осуществления технологического процесса [1].

Большинство судовых приводов представляют собой электромашинные автоматизированные ЭП, в которых преобразование электрической энергии в механическую осуществляется электрическими машинами (ЭМ) на основе взаимодействия электромагнитных полей и проводников с током, а часть операций управления выполняют соответствующие устройства управления без участия человека (оператора).

На рисунке 1 представлена разработанная с учетом материалов, представленных в [2, 3], обобщенная структурная схема автоматизированных ЭП с замкнутой системой управления при работе электродвигателя в двигательном режиме, где ПЭЭ-преобразователь электрической энергии; ЭД-электродвигатель (электромеханический преобразователь); МП-механический преобразователь; ИО-исполнительный орган рабочей машины (РМ); УУ-управляющее устройство; ИУ-информационное устройство.

ПЭЭ – электротехническое устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии (ЭЭ) с одними значениями параметров (рода тока, напряжения, частоты, числа фаз, фазы напряжения) и/или показателей качества в электрическую энергию с дру-

гими значениями параметров и/или показателей качества. К входным параметрам (координатам $z_1(t)$) ПЭЭ (рисунок 1) относится напряжение сети U_c , ток сети I_c , (при переменном токе – частота сети f_c) и др. ПЭЭ выполняет функции управления электромеханическим преобразователем по силовому каналу.

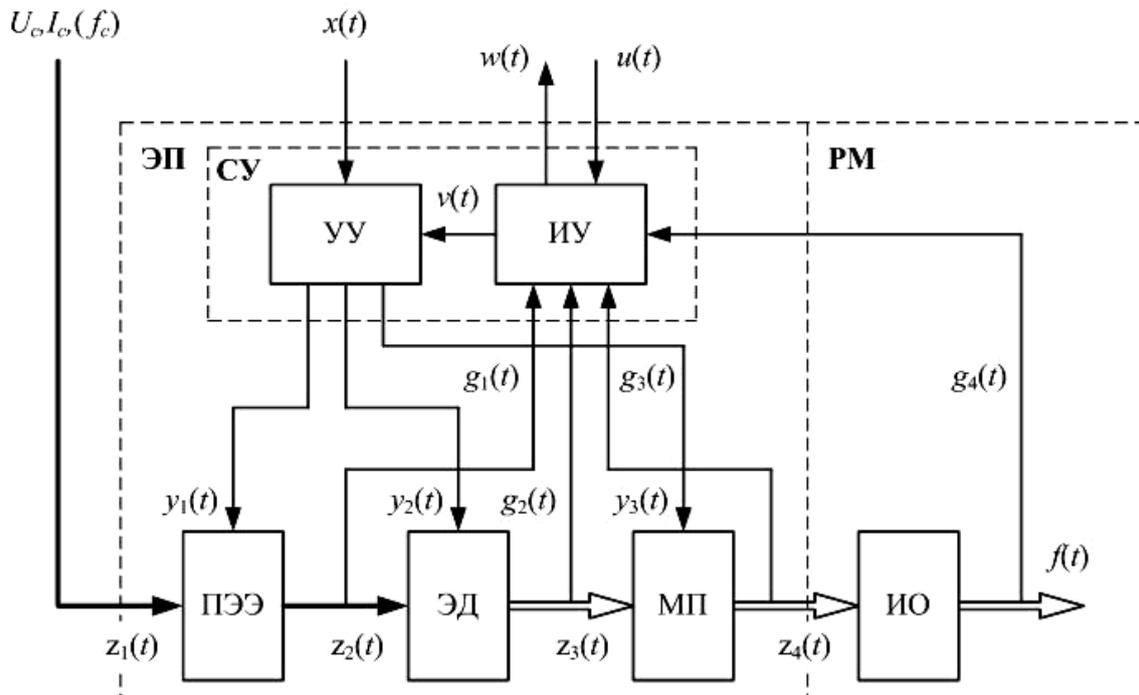


Рисунок 1 – Структурная схема автоматизированного ЭП с замкнутой системой управления при работе ЭД в двигательном режиме

ЭД-ЭМ, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую. Входными координатами $z_2(t)$ ЭД (рисунок 1) являются преобразованные выходные параметры (координаты) ПЭЭ (напряжение U , ток I , а при переменном токе – частота f) и др.

МП – механическая преобразователь (передача), предназначенный для передачи механической энергии от ЭД к ИО рабочей машины и согласования вида и скоростей их движения. К входным координатам $z_3(t)$ МП (см. рисунок 1) относятся механические параметры, полученные в результате преобразования ЭД электрической энергии в механическую (механический момент M , угловая скорость ω и др.). Координатами $z_4(t)$ (см. рисунок 1) являются преобразованные выходные координаты МП (механический момент M_n (сила F_n), угловая скорость ω_n (линейная скорость v_n)).

К ИО (см. рисунок 1) относятся детали конструкций рабочих машин, предназначенных для выполнения технологических операций, соответствующих назначению механизмов (рули рулевых машин, якоря и якорные цепи якорных устройств и т.д.).

УУ – устройство, предназначенное для формирования управляющих воздействий в ЭП. УУ выполняет функции управления по каналам управления ПЭЭ, и/или ЭД, и/или МП управляющими воздействиями (координатами) $y_1(t)$, $y_2(t)$ и $y_3(t)$, соответственно (см. рисунок 1). К входным координатам УУ относятся задающие воздействия $x(t)$, создаваемые оператором, и/или $v(t)$, формируемые ИУ.

ИУ – устройство, предназначенное для получения, преобразования, хранения, распределения и выдачи информации о переменных ЭП, технологического процесса и сопредельных систем для использования в системе управления (СУ) электропривода и внешних информационных системах. Согласно рисунку 1 к входным координатам ИУ относятся сигналы обратных связей (ОС) $g_1(t)$, $g_2(t)$, $g_3(t)$ и $g_4(t)$, формируемые по выходным координатам $z_2(t)$ ПЭЭ, $z_3(t)$ ЭД, $z_4(t)$ МП и $f(t)$ ИО РМ. К координатам $f(t)$ относятся рабочие значения механического момента M_p (силы F_p), угловой скорости ω_p (линейной скорости v_p).

Кроме того, к входным координатам ИУ относятся сигналы внешних воздействий $u(t)$, формируемые СУ электроприводом или сопредельными системами. К выходным координатам ИУ наряду с $v(t)$ относятся координаты $w(t)$, формируемые для внешних информационных систем.

Кроме того, в состав ЭП входит устройство сопряжения, которое представляет собой совокупность электрических и механических элементов, обеспечивающих взаимодействие ЭП с сопредельными системами и отдельных составных частей ЭП.

Совокупность управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения ЭП, предназначенных для управления ЭД с целью обеспечения заданного движения ИО рабочей машины является СУ электропривода.

Внешняя по отношению к ЭП СУ более высокого уровня, поставляющая необходимую для функционирования ЭП информацию относится к СУ электроприводом.

Таким образом, структурная схема ЭП (см. рисунок 1) включает в себя силовой канал, содержащий ПЭЭ, ЭД, МП и каналы управления на основе УУ и ИУ.

Многие судовые ЭП, имеющие ряд отличительных особенностей, обусловленных в первую очередь специфическими условиями их эксплуатации, содержат разомкнутые СУ, характеризующиеся отсутствием ОС $g_1(t)$, $g_2(t)$, $g_3(t)$ и $g_4(t)$.

Необходимо отметить, что схема любого ЭП, независимо от степени сложности и назначения ЭП, включает в себя необходимое и достаточное для функционирования в области допустимых значений количество различных элементов и их компонентов, предназначенных для выполнения операций ЭП в соответствии с их функциональным назначением. Элементы ЭП соединены между собой таким образом, чтобы выполнять по заданным алгоритмам все операции, определяемые назначением ЭП. Связи элементов или групп элементов отражаются принципиальными (полными), структурными и функциональными схемами.

Несмотря на большое разнообразие судовых ЭП, их по СУ можно условно объединить в группы. Самая многочисленная и разнообразная по функциональному назначению группа включает в себя нереверсивные ЭП на основе магнитных пускателей. Такие СУ в первую очередь входят в состав нерегулируемых ЭП судовых нагнетателей (вентиляторов, насосов и др.).

На рисунке 2 представлена принципиальная электрическая схема нереверсивного нерегулируемого ЭП, включающая трехфазный асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым ротором М и магнитный пускатель. Согласно схеме, представленной на рисунке 2, для функционирования нереверсивного нерегулируемого ЭП необходимым и достаточным количеством является пять элементов магнитного пускателя: трехполюсный контактный коммутационный аппарат (контактор) КМ; два тепловых реле КК1 и КК2; кнопки «пуск» SB1, и «стоп» SB2.

Контактор КМ, как элемент, включает три компонента: три механически соединенных главных контакта, катушку (обмотку) управления и вспомогательный контакт, шунтирующий кнопку SB1. Каждое из тепловых реле КК1 и КК2 состоит из двух компонентов: реагирующего на величину тока элемента (например, биметаллической пластины), включенного силовую схему, и контакта, включенного последовательно катушке контактора КМ.

Таким образом, представленная широко распространенная принципиальная электрическая схема ЭП обеспечивает нереверсивное включение и выключение ЭП, а также защиту АД от токовой перегрузки.

Применительно к разработанной структурной схеме (рисунок 1), при определенных допущениях, ЭП с нереверсивными магнитными пускателями (рисунок 2), широко используемые в судовых ЭП с нерегулируемой угловой скоростью, содержат СУ, включающие кнопки «пуск» SB1, и «стоп» SB2, катушку (обмотку) управления и вспомогательный контакт контак-

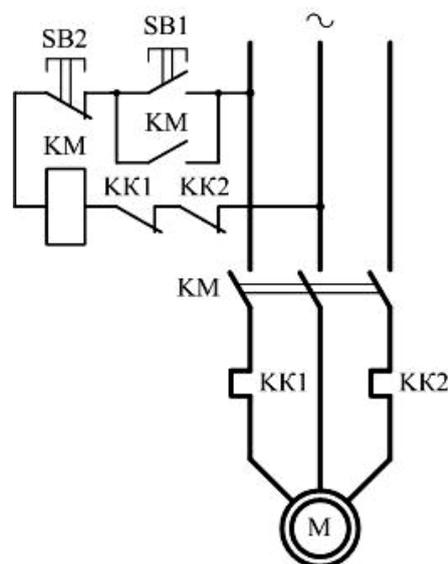


Рисунок 2 – Электрическая схема нереверсивного нерегулируемого ЭП с магнитным пускателем

тора КМ. ПЭЭ (рисунок 1) являются главные контакты контактора КМ (рисунок 2), выполняющие аналоговую функцию. Электромеханическим преобразователем ЭД (рисунок 1) является трехфазный АД М. В зависимости от функционального назначения РМ (рисунок 1) ЭП могут быть с механическими преобразователями МП (рисунок 1) (механическими, гидравлическими и др. передачами) или без них. В частности, у большинства центробежных и пропеллерных нагнетателей (насосов и вентиляторов) МП отсутствуют, то есть ИО механизма (рабочее колесо (крылатка) и др.) соединен напрямую с валом ЭД – рисунок 1. Наличие тепловых реле КК1 и КК2 и схема их включения (рисунок 2) обеспечивают ОС по току $g_2(t)$ – рисунок 1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Электроприводы. Термины и определения: ГОСТ Р 50369-1992. -Введ. 1993-07-01. -М.: Изд-во стандартов, 1993. -14 с.
- 2 Бурков, А.Ф. Надежность судовых электроприводов: монография / А.Ф. Бурков. -Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2014. -204 с.
- 3 Самосейко, В.Ф. Теоретические основы управления электроприводом / В.Ф. Самосейко. -СПб.: Элмор, 2007. -464 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *электрический привод, структурная схема, электродвигатель, система управления*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Бурков Алексей Федорович, канд. техн. наук, профессор ФГАОУ ВО «ДВФУ»
Веревкин Владимир Федорович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690950, г.Владивосток, ул.Суханова, 8, ФГАОУ ВО «ДВФУ»
690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 6-10 кВ ПРИ КОММУТАЦИЯХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С «ЖЕСТКОЙ» СРЕДОЙ ГАШЕНИЯ ДУГИ

**ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного
транспорта»
ООО «Болид»**

**А.А. Базавлук, Ю.М. Денчик, Е.В. Иванова, Д.М. Иванов,
В.Г. Сальников, Л.И. Сарин**

THE CONCEPT OF IMPROVEMENT OF QUALITY OF FUNCTIONING OF ELECTRIC NETWORKS 6-10 kV BY SWITCHING THE SWITCHES WITH THE "HARD" MEDIUM OF ARC EXTINGUISHMENT

Siberian state university of water transport

Bolid

A.A. Bazavluk, Ju.M. Denchik, E.V. Ivanova, D.M. Ivanov, V.G. Sal'nikov, L.I. Sarin

Discusses the results of experimental studies of transient processes in electrical networks 6-10 kV at switching vacuum circuit breakers (VCB). A systematic approach to the analysis of the data determined the direction of improving the quality of functioning of these systems.

Keywords: mains medium voltage switches, switches, switching impulse voltage, system approach, concept

Рассматриваются результаты экспериментальных исследований переходных процессов в электрической сети 6-10 кВ при коммутациях вакуумными выключателями (ВВ). Системным подходом к анализу полученных данных определено направление повышение качества функционирования этих систем.

На распределительных подстанциях (РП) в сетях среднего напряжения (от 6 до 35 кВ) наиболее изношенным оборудованием являются выключатели. Доля отработавших свой ресурс коммутационных аппаратов составляет более 20% [1-3]. Для замены масляных выключателей (МВ) рекомендуются вакуумные и элегазовые выключатели [4-6]. Выбор типа выключателя производится исходя из следующих положений. При необходимых частых коммутационных операций (например, для коммутации электропечных трансформаторов) и активно-индуктивном характере нагрузки коммутируемой цепи целесообразно использовать вакуумные выключатели (ВВ). Для цепей коммутации с емкостным характером нагрузки следует использовать элегазовые выключатели (ЭВ) [5].

Наблюдается наиболее интенсивное внедрение в сетях 6-10 кВ ВВ. Эти выключатели обладают наибольшим коммутационным ресурсом, но имеют более «жесткую» среду гашения дуги, чем МВ и ЭВ. Степень «жесткости» оценивается скоростью перехода тока через нулевое значение, при котором еще возможно гашение дуги высокочастотного тока. Для ВВ

$di/dt = 250-350 \text{ A/мкс}$ [1].

Коммутационные импульсные напряжения (коммутационные перенапряжения) за счет высокой кратности и кумулятивного эффекта представляют реальную опасность для изоляции. Ретроспективный анализ повреждения изоляции в сетях 6-10 кВ предприятий, технологические режимы которых (металлургические, химические и др.) связаны с числом переключений на фидерах до 100 раз в сутки, показали за 6 лет наблюдений высокую аварийность. Число однофазных замыканий на землю увеличилось в среднем в 3,8 раза [3]. Не исключено, что негативный эффект от применения ВВ в сетях других отраслей начнет проявляться несколько позже в силу меньшей интенсивности коммутаций и более медленной деградации изоляции [2].

Для устранения неопределенности при оценке эффективности применения ВВ для коммутации индуктивной нагрузки были сформулированы следующие вопросы. Какая вероятность появления значительных коммутационных импульсных напряжений, превышающих допустимое значение, на присоединении 6-10 кВ с индуктивной нагрузкой? Насколько эффективно снижают коммутационные импульсные напряжения параметры силового кабеля 6-10 кВ (длина, емкость фаз на землю и между собой, индуктивность) и индуктивной нагрузки?

Ответы на эти вопросы получены на основе экспериментального исследования, которые проводились на подстанции 10 кВ компрессорной станции «Богандинская» ООО «Газпромтрансгаз Сургут». На рисунке 1 приведена схема подключения измерительного оборудования для осциллографирования коммутационных импульсных напряжений при коммутации вакуумным выключателем присоединения трансформатора типа ТМ-1000 10/0,4 кВ, работающего в режиме холостого хода. Коммутация этого трансформатора мощностью 1000 кВА осуществлялась вакуумным выключателем типа ВВТЭ-М-10-20 (10 кВ, 630 А). Подключение осциллографов к ДН-10 кВ осуществлялось кабелями марки КР-50, длиной до 15 м.

Количество (число) испытаний n определено с помощью коэффициента вариации Y , показывающего при каком диапазоне меняются коммутационные импульсные напряжения

$$n = 3,84 \frac{Y^2}{\Delta^2}, \quad (1)$$

где Δ – предел отклонения исследуемой величины, о.е.

При $Y = 5-8$ и $\Delta = 0,8$, установленных на основании ретроспективного анализа коммутационных процессов [4-6], получено $n = 14$. Для иллюстрации на рисунке 2 приведена осциллограмма фазных напряжений на шинах 10 кВ подстанции, полученная при 12 опыте. Расчетные значения математических ожиданий $M[K_i]$ и средних квадратических отклонений $\sigma[K_i]$ кратностей коммутационных импульсных напряжений (перенапряжений), полученных в зависимости от вида коммутации и места регистрации, представлены в таблице 1.

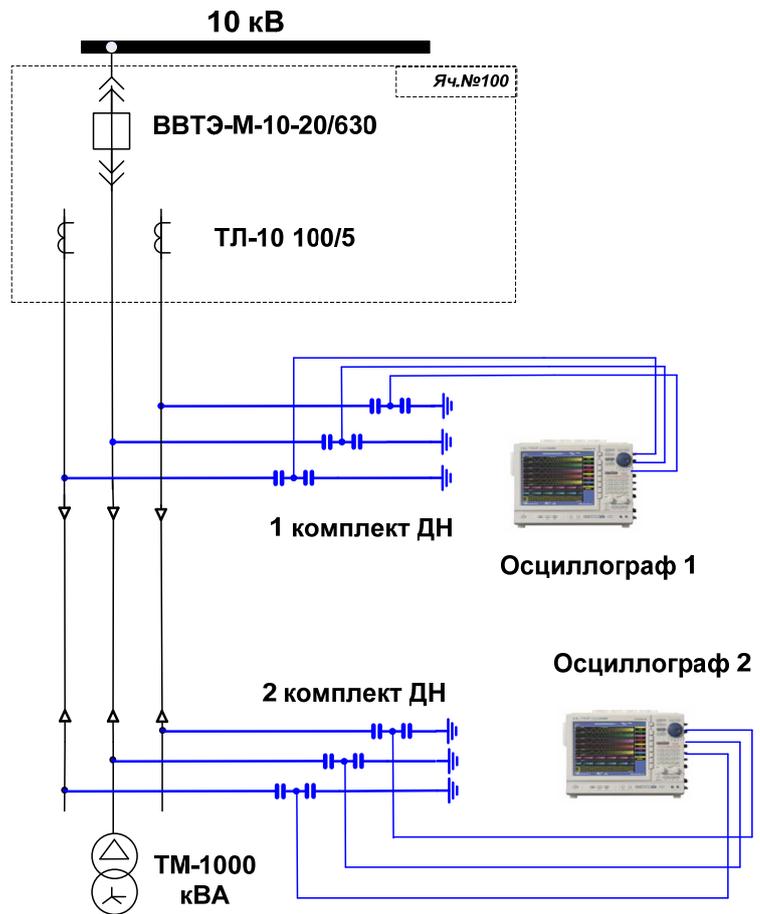


Рисунок 1 – Схема подключения измерительного оборудования для осциллографирования коммутационных импульсных напряжений при коммутациях вакуумным выключателем индуктивной нагрузки

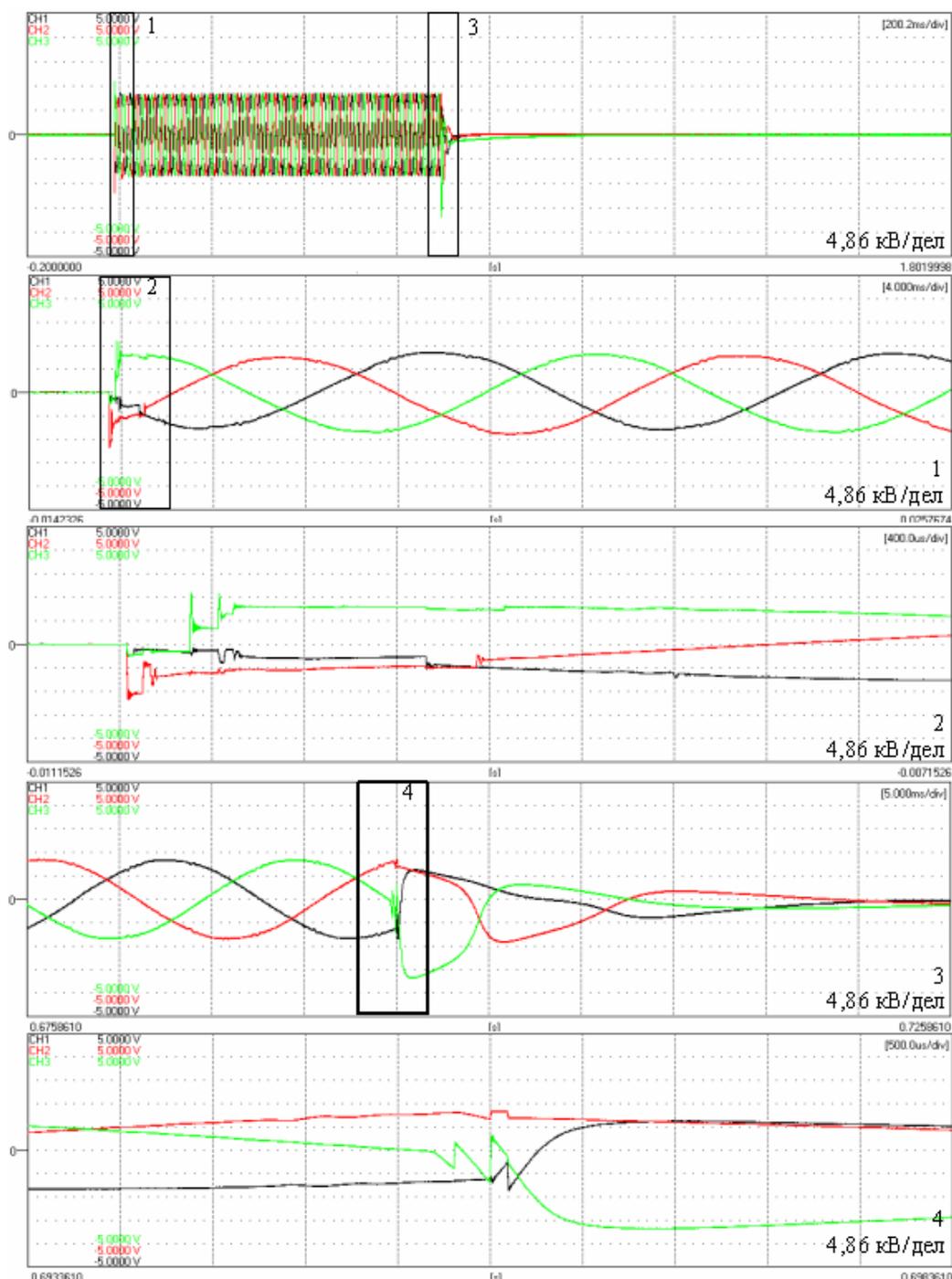


Рисунок 2 – Осциллограммы фазных напряжений на шинах 10 кВ подстанции при коммутации вакуумным выключателем индуктивной нагрузки (опыт 12)

Таблица 1 – Результаты математической обработки осциллограмм

Параметры	Место регистрации			
	Шины 10 кВ подстанции в сторону кабельной линии		Шины 10 кВ трансформатора (после кабельной линии)	
	Включение ВВ	Отключение ВВ	Включение ВВ	Отключение ВВ
i	1	2	3	4
$M[K_i]$	1,51	1,38	1,46	1,2
$\sigma[K_i]$	0,34	0,35	0,26	0,31

Объективность достоверности полученных результатов исследовалась с помощью вероятной ошибки Φ_i , которая в интервале $\pm\Phi$ характеризует отклонение равное половине

всей совокупности. При нормальном законе распределения ошибки измерений как случайной величины теории вероятности и математической статистики показатель точности измерений определяется по формуле [5, 6]

$$\eta_i = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma[K_i]} \quad (2)$$

Результаты исследования коммутационных импульсных напряжений в сети 10 кВ при коммутации ВВ индуктивной нагрузки показали:

- вероятность того, что случайная ошибка измерений в пределах $\pm\eta_i \sigma[K_i]$ составляет 0,682;
- вероятность превышения допустимых коммутационных импульсных напряжений (43 кВ) оценивается величиной 0,318;
- параметры кабельной линии только на (9-11)% снижают кратность K_i на изоляции силового трансформатора.

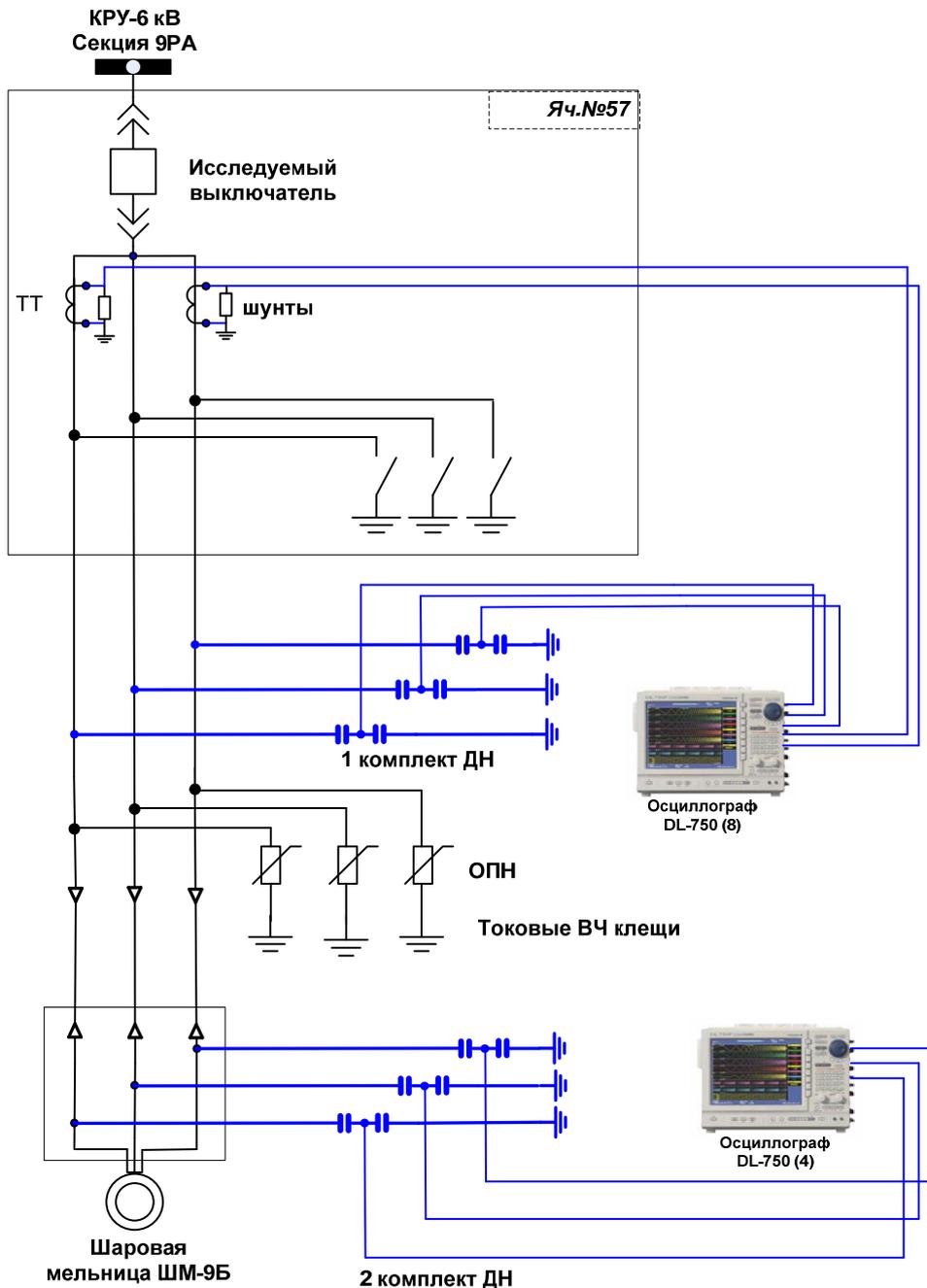


Рисунок 3 – Электрическая схема подключения измерительного оборудования для исследования переходных процессов при коммутациях электродвигателя серии ДСКЗ-260 различными выключателями без ОПН и при их наличии

Для устранения неопределенностей при замене МВ вакуумными выключателями на фидерах с высоковольтными электродвигателями были проведены на Новосибирской ТЭЦ-4 экспериментальные исследования, позволившие сформулировать концепцию внедрения ВВ. Электродвигатель ДСКЗ-260 (6 кВ, 800 кВт, 187 об/мин) шаровой мельницы ШМ-9Б получал питание от собственных нужд электростанции кабелем с бумажно-масляной изоляцией марки АСБ 3×150 мм² длиной 100 м (расчетный емкостный ток на землю составляет 0,1 А). На рисунке 3 представлена схема подключения измерительного оборудования для исследования переходных процессов при коммутациях указанного электродвигателя различными выключателями без ОПН и при их наличии.

Осуществлялась оценка переходных процессов при коммутациях и сравнительный анализ характеристик ВВ различных отечественных типов: ВВТЭ-М-10-20/630 (г. Минусинск, ОАО «ЭЛКО»), ВВ/TEL-10-20/1000 (г. Москва, ОАО «Таврида-электрик»), ВБП-10-20/630 (г. Саратов, ОАО «НПП Контакт»). Кроме того, испытанию подвергался также маломасляный выключатель типа ВМП-10-20/1000. Отличительная особенность испытаний обуславливается осциллографированием переходных процессов при коммутациях одного и того же присоединения различными выключателями в производственных условиях [1]. Все указанные выключатели прошли проверку на соответствие техническим условиям с помощью прибора контроля высоковольтных выключателей типа ПКВ/М7.

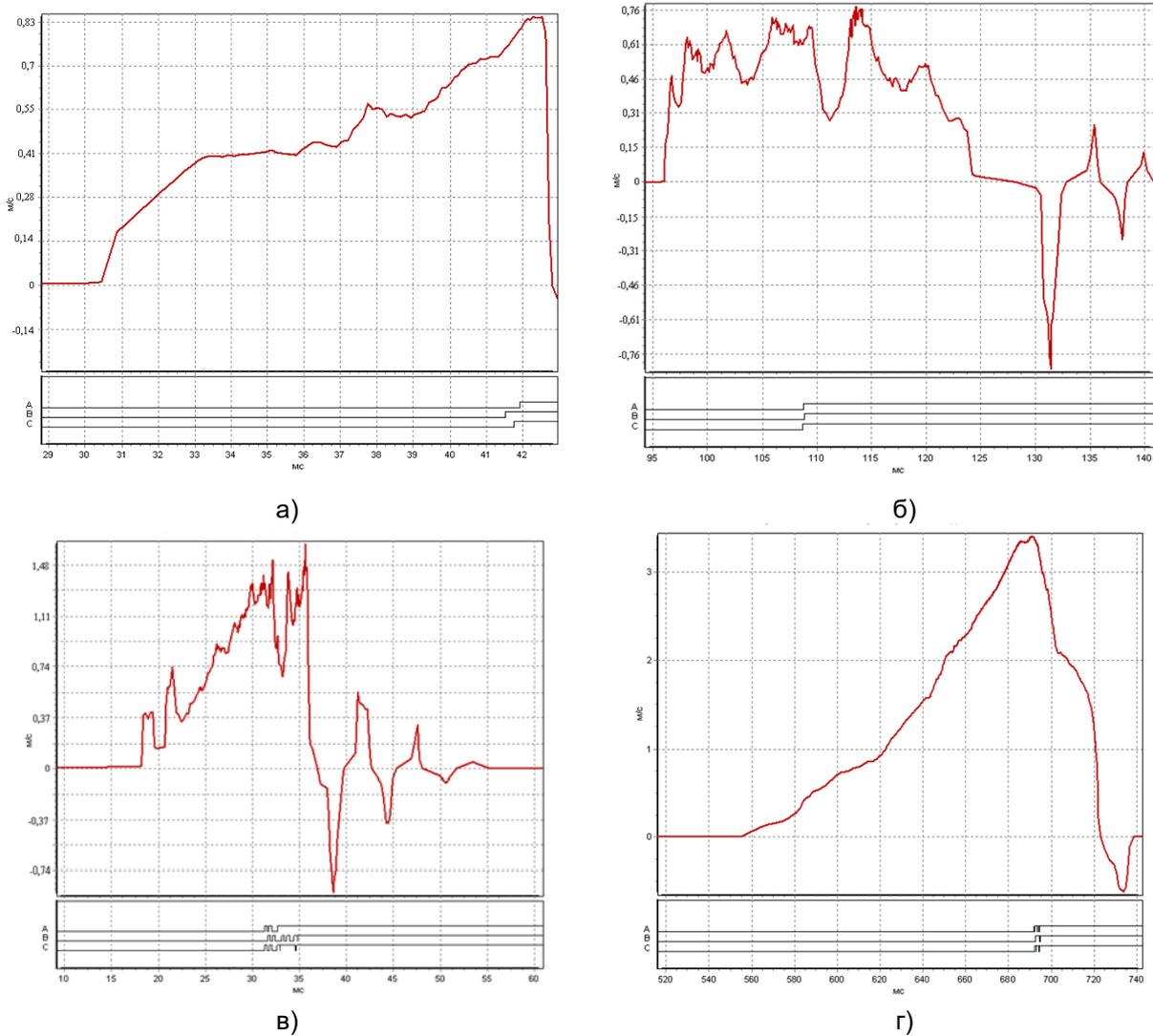


Рисунок 4 – Графики изменения скорости замыкания контактов вакуумных выключателей: а)- ВВ/TEL-10-20/1000; б)-ВБП-10-20/630; в)-ВВТЭ-М-10-20/630; г)-масляного выключателя ВМП10-20/630

В ходе испытаний осциллографировались напряжения на шинах секции КРУ 6 кВ, в начале кабельной линии (КЛ) непосредственно за выключателем, в конце КЛ у двигателя, а также токи через ОПН и токи нагрузки в КЛ.

Графики изменения скорости движения подвижного контакта и «дребезг» контактов (в виде дискретного сигнала по трём полюсам внизу графика) изображены на рисунке 4. В таблице 2 приведены основные характеристики переходных процессов при коммутациях исследуемых выключателей.

В процессе коммутаций ВВ возникали высокочастотные (ВЧ) предварительные пробои различной продолжительности и амплитуды напряжения в зависимости от типа выключателя (рисунок 5 и 6). При включении масляного выключателя предварительные пробои отсутствуют, что связано с характером дугогасящей среды (рисунок 5в). Перенапряжения в начале КЛ при отключении выключателей не превышают $1,9U_{\phi \max}$, при включении – $2U_{\phi \max}$. Амплитуда ВЧ спектра (3-5) МГц коммутационных перенапряжений (КП) возрастает до значений, при которых кратность перенапряжений в конце КЛ для разных выключателей увеличивается вдвое по сравнению с кратностью в начале КЛ (рисунок 5).

Таблица 2 – Основные характеристики переходных процессов при коммутациях различными выключателями

Характеристика	ВБП-10-20/630	ВВ/TEL-10-20/1000	ВВТЭ-М-10-20/630	ВМП-10-20/600
Скорость замыкания контактов, м/с	0,66	0,94	1,26	3,38
Скорость падения пробивного напряжения, кВ/мс (длительность предварительных пробоев, мкс)	12,4 (192,0)	35,8 (135,7)	66,5 (43,8)	-(0)
Скорость размыкания контактов, м/с	1,05	0,63	1,17	3,83
Скорость возрастания пробивного напряжения, кВ/мс	19,7	24,1	61,8	7,02
Наличие «дребезга»	отсутствует	отсутствует	присутствует	присутствует
Средняя/максимальная кратность перенапряжения при включении	$3,34U_{\phi, \text{cp}}$ / $4,4U_{\phi, \text{max}}$	$2,97U_{\phi, \text{cp}}$ / $3,46U_{\phi, \text{max}}$	$1,89U_{\phi, \text{cp}}$ / $2,57U_{\phi, \text{max}}$	$2,55U_{\phi, \text{cp}}$ / $3,06U_{\phi, \text{max}}$
Неодновременность замыкания контактов, мкс	150	430	320	1150
Ток «среза», А	3,3	2,7	2,9	2,35
Переходное сопротивление контактов, мкОм	38-44	37-41	35-39	55-185
Электрическая прочность (до 2 мм), кВ/мм	18,8	38,1	52,8	1,8*

*-электрическая прочность образовавшихся при воздействии электрической дуги газов под давлением в цикле ВЧ повторных пробоев.

Графики на рисунке 4 отражают работу приводов исследованных выключателей и всей механической системы в целом (этапы движения контактов, наличие заеданий и «дребезг» контактов). Наибольшей скоростью замыкания контактов ВВ обладает выключатель ВВТЭ-М-10-20/630. При этом повышается скорость падения пробивного напряжения и уменьшается продолжительность предварительных пробоев. Однако, увеличивается «дребезг» контактов при включении, во время которого вновь появляются множественные ВЧ пробои в вакуумной дугогасящей камере (ВДК) (рисунок 6).

Скорость замыкания контактов в выключателе ВМП-10-20/1000 гораздо больше, чем в исследованных ВВ, поэтому их «дребезг» при включении имеет наибольшее значение. В выключателях ВВ/TEL-10-20/1000 и ВБП-10-20/630 «дребезг» контактов, приводящий к обрыву дуги тока, отсутствует, что связано с низкой скоростью замыкания контактов, но число предварительных пробоев при этом значительно возрастает. График зависимости средней продолжительности предварительных пробоев от скорости замыкания контактов приведён на рисунке 7.

Наибольшим значением неодновременности замыкания контактов среди исследованных ВВ обладает выключатель ВВ/TEL-10-20/1000, что объясняется, вероятно, отсутствием механической связи между полюсами (каждый полюс выключателя приводится в движении собственным электромагнитом). Указанный параметр для масляного выключателя ВМП-10-20/630 составляет более 1 мс, что по-видимому, вызвано (как и длительный «дребезг») большим сроком его эксплуатации (более 40 лет).

Осциллографирование токов, протекающих через нелинейные ограничители перенапряжений типа ОПН-6, показало, что ОПН, применяемые для защиты коммутируемого обо-

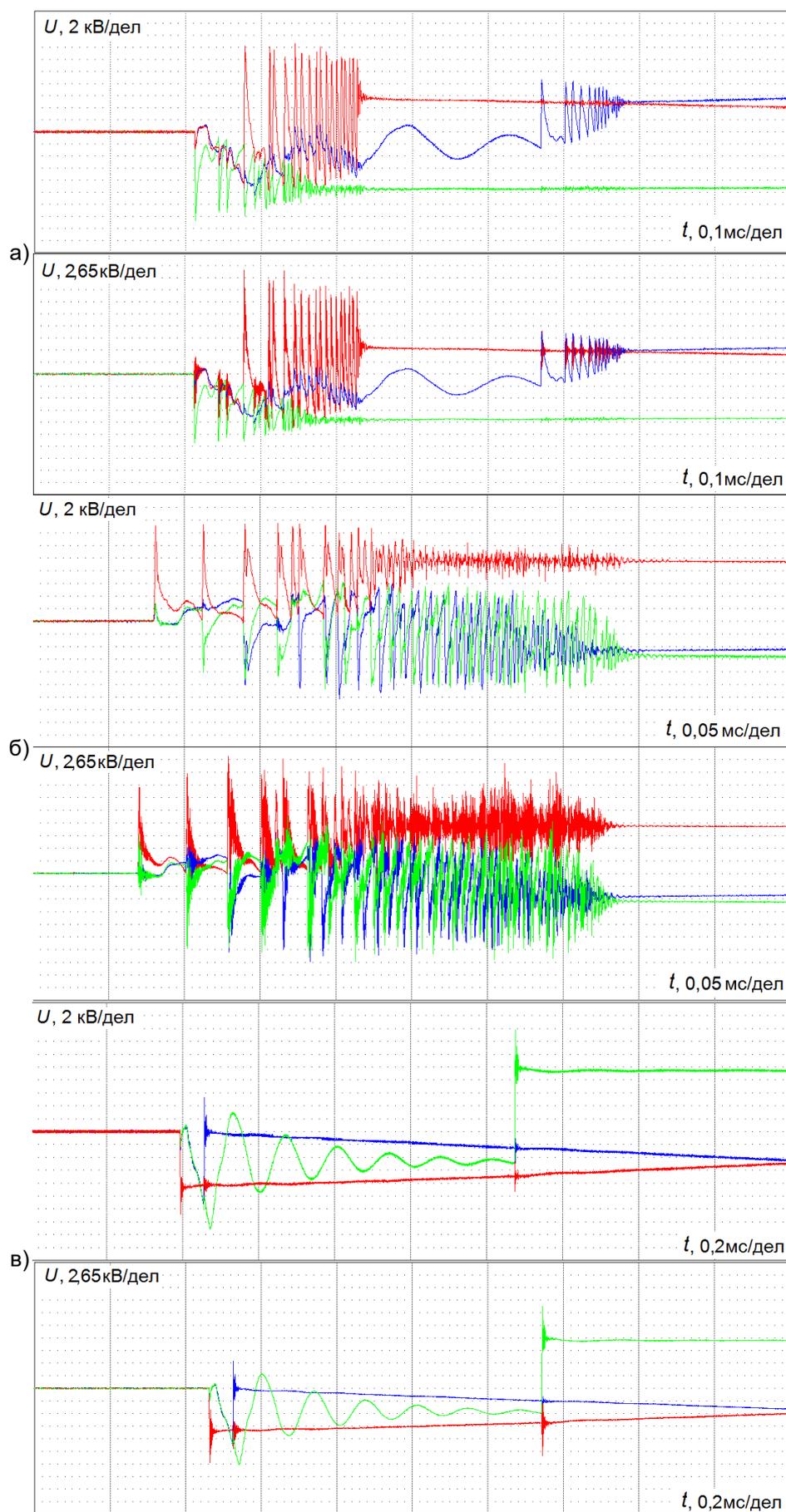


Рисунок 5 – Осциллограммы переходных процессов фазных напряжений в начале (вверху) и в конце (внизу) КЛ при включении вакуумных выключателей: а)-ВВ/TEL-10-20/1000; б)-ВВП -10-20/630; в)-масляного выключателя ВМП-10-20/630

рудования, малоэффективны. Они практически не влияют на число повторных пробоев в ВДК и не ограничивают перенапряжения с крутым фронтом (частота напряжения находится в пределах от 100 кГц до 10 МГц), которые сопровождают коммутации любых ВВ. Это связано с тем, что при предварительных пробоях и в процессе эскалации перенапряжений в случае повторных пробоев за счёт возникновения волновых процессов в контуре «ёмкость кабеля - индуктивность коммутируемого электродвигателя» уровни возникающих коммутационных перенапряжений (рисунок 5 и 6) не достигают порога срабатывания ОПН, который, как правило, превышает $3,5U_{\phi\max}$. Низкая эффективность применения ОПН в подобных случаях отмечается также другими исследователями [1].

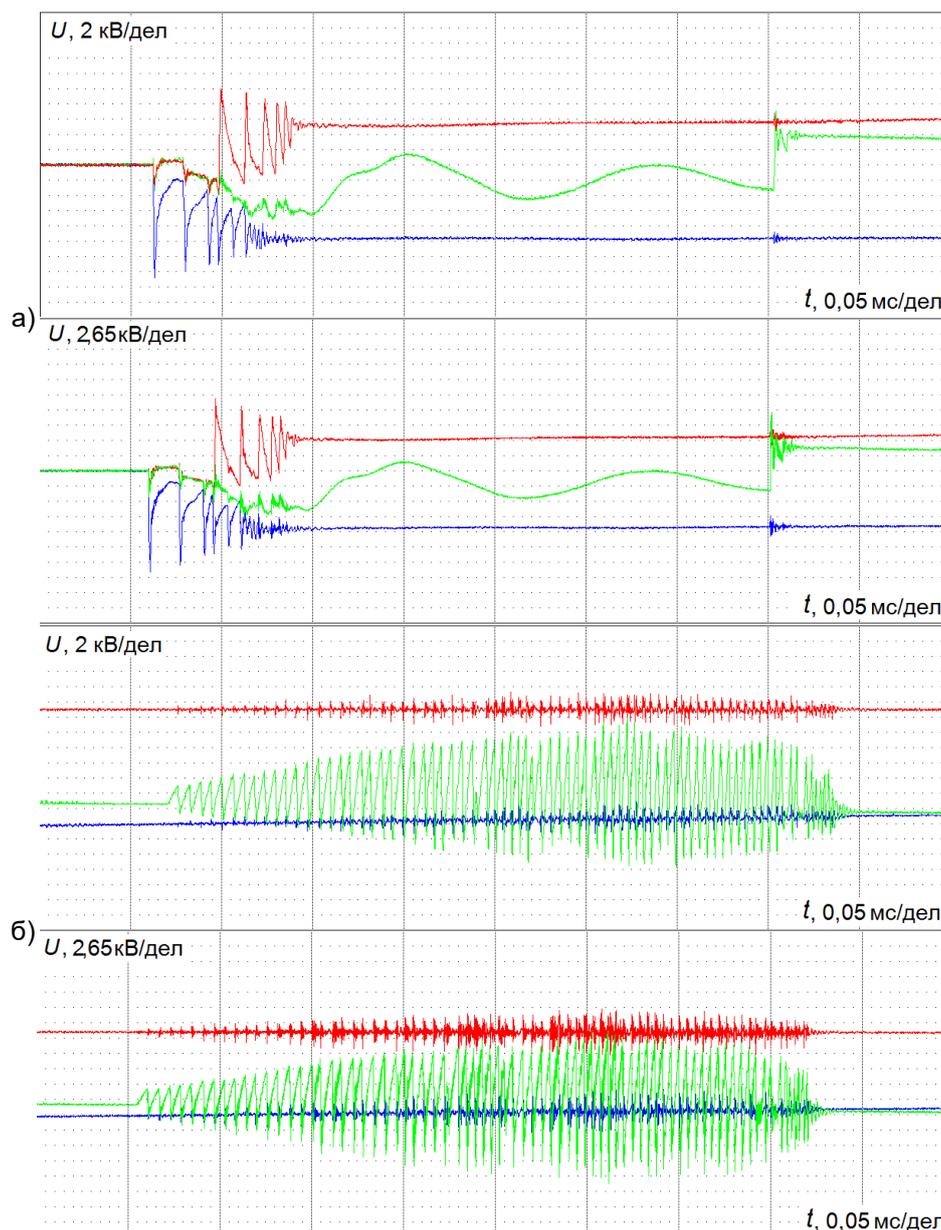


Рисунок 6 – Осциллограммы переходных процессов фазных напряжений в начале (вверху) и в конце (внизу) КЛ при: а)-включении вакуумного выключателя ВВТЭ-М-10-20/630; б)-в момент «отскока» контактов вакуумного выключателя ВВТЭ-М-10-20/630

Таким образом, современные ВВ с «жесткой» дугогасящей средой отечественных производителей в электрической сети среднего напряжения являются источником коммутационных импульсных напряжений, которые представляют реальную угрозу для изоляции и относятся к техническим средствам нарушающим электромагнитную совместимость. Главный аспект приведенного системного анализа применительно к задаче исследования формулируется как обеспечение условий качественного функционирования (ГОСТ Р 50397-93) сетей среднего напряжения при коммутации ВВ.

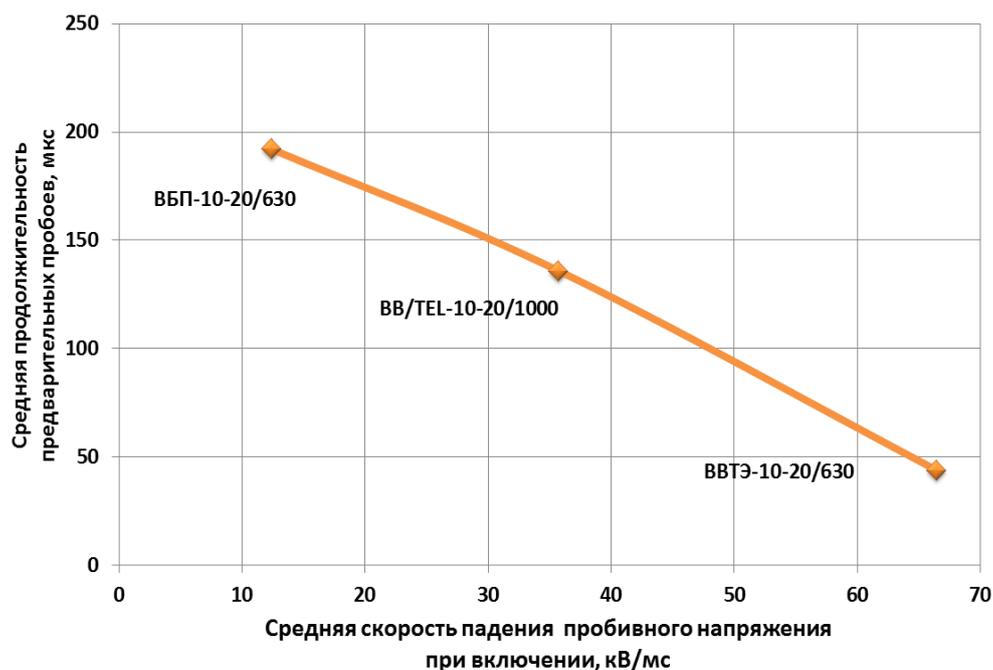


Рисунок 7 – График зависимости продолжительности предварительных пробоев от скорости падения пробивного напряжения

Заявленные технические характеристики ВВ в ходе эксплуатации могут ухудшаться, что негативно влияет на переходные процессы при коммутациях, поэтому, вопреки заявлением некоторых производителей, для ВВ необходима проверка этих характеристик в ходе эксплуатации. Для получения более полной и наглядной информации во время проверки технических характеристик целесообразно проводить осциллографирование переходных процессов при коммутациях ВВ. Для этого следует рассмотреть возможность создания испытательного стенда с учетом выполненных исследований, позволяющего коммутировать установленную схему и осциллографировать переходные процессы в различных ее точках, что позволит измерять значение тока «среза», кратность перенапряжений, продолжительность предварительных пробоев, электрическую прочность на расстояниях до 2 мм, скорость изменения пробивного напряжения и пр. [1].

Эксплуатация предъявляет основные требования к чувствительности релейной защиты изоляции от коммутационных импульсных напряжений, хотя, с точки зрения директивных документов, проблем не должно быть. Имеются в виду защиты так называемых «индуктивных элементов» – электродвигателей и трансформаторов. Указанная задача сейчас решается в основном включением [1-6]:

- ОПН или RC-цепей по схеме «фаза-земля» на всех трёх фазах сети в начале КЛ непосредственно за ВВ;

- RC-цепей между фазами в начале питающего кабеля по схеме «фаза-фаза» («треугольник») непосредственно за ВВ.

Однако, RC-цепи, представляющие собой безинерционные фильтры, устраняют ВЧ перенапряжения с крутым фронтом. Уровень ограничения перенапряжений при коммутациях выключателей в этом случае составляет – $(2,2 - 3,0)U_{\phi, \max}$. Первый недостаток этого способа – увеличение ёмкостного тока однофазного замыкания на землю при подключении RC- цепи по схеме «фаза-земля», второй – снижение надёжности системы из-за высоковольтных конденсаторов, особенно при подключении по схеме «фаза-фаза». Кроме того, RC-цепи по возможности следует устанавливать в конце КЛ рядом с коммутируемым электрооборудованием, что технически трудно реализовать [2].

Наиболее перспективный метод ограничения ВЧ перенапряжений, возникающих при коммутации ВВ, - применение специальных продольных устройств на основе электропроводной керамики, которые лишены недостатков RC-цепей и ОПН [1-3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Сарин, Л.И. Результаты исследований переходных процессов при коммутациях вакуумных выключателей / Л.И. Сарин, А.А. Базавлук, И.Е. Наумкин, В.В. Гоголюк // -Энергетик. -2011. -№10. -С. 27-31.

2 Сарин, Л.И. Исследование влияния параметров кабельной линии присоединения 10 кВ с вакуумным выключателем на коммутационные импульсные напряжения / Л.И. Сарин, Ю.М. Денчик, К.С. Мочалин, М.З. Рамазанов, Е.В. Иванова // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2012. -№1. -С. 344-347.

3 Сарин, Л.И. Результаты экспериментальных исследований процессов при замыкании на землю в сети 6 кВ Оренбургского газоперерабатывающего завода / Л.И. Сарин, А.А. Михель, А.В. Иванов, М.В. Ильиных, А.И. Ширковец // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2008. -№1 Спец. Вып., -С. 35-40.

4 Сарин, Л.И. Комплексный подход к выбору средств ограничения перенапряжений в сетях 6-10 кВ крупных промышленных предприятий целлюлозно-бумажной и металлургической промышленности / Л.И. Сарин, М.В. Ильиных// -Электрические сети и системы. -2008. -№4. -С. 55-62.

5 Денчик, Ю.М. Повышение качества функционирования линий электропередачи/ Ю.М. Денчик, Г.А. Данилов, М.Н. Иванов, Г.В. Ситинков; Под ред. В.П. Горелова, В.Г. Сальникова. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2013. -559 с.

6 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е.В. Иванова; Под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалика. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2006. -432 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *электрическая сеть среднего напряжения, выключатели, коммутационные импульсные напряжения, системный подход, концепция*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Базавлук Артем Александрович, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Иванова Елена Васильевна, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Иванов Дмитрий Михайлович, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Сальников Василий Герасимович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Сарин Леонид Иванович, директор ООО «Болид»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»
630015, г.Новосибирск, ул.Электрозаводская, 2, корп.6, ООО «Болид»*

ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ МОРСКОГО ТРАНСПОРТА И ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

**ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»
ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм.
Г.И. Невельского»**

А.Ф. Бурков, В.Ф. Веревкин, Н.В. Сгребнев

ENERGY LOSSES IN ELECTRIC NETWORKS OF MARITIME TRANSPORT AND TRANSPORT INFRASTRUCTURE

**Far Eastern federal university
Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
A.F. Burkov, V.F. Verevkin, N.V. Sgrebnev**

In connection with growth of consumption of electric energy are relevant issues associated with its loss.

Keywords: electrical energy, power loss, sea transport, transport infrastructure

В связи с ростом потребления электрической энергии актуальными являются вопросы, связанные с её потерями.

Процесс передачи электрической энергии (ЭЭ) осуществляется электромагнитным полем проводников. По данным, приведенным в [1], стоимость потерь достигает 40% стоимости передачи ЭЭ.

Исходя из специфических условий, в судовых установках переменного тока при напряжениях на зажимах агрегатов $U_{на}$ источников ЭЭ с частотой 50 и 60 Гц до 1000 В допускается применение трехфазной трехпроводной изолированной, трехпроводной с нулевой точкой, заземленной через высокоомный резистор или реактор (с компенсированно-резистированной нейтралью) систем распределения ЭЭ [2]. Дополнительно для напряжений переменного тока $U_{на}$ до 500 В включительно допускается использование следующих систем распределения ЭЭ: трехфазной четырехпроводной изолированной; четырехпроводной с нулевой точкой, заземленной через высокоомный резистор или реактор; однофазной двухпроводной изолированной; однофазной двухпроводной с нулевой точкой, заземленной через высокоомный резистор или реактор; однофазной, однопроводной с использованием корпуса судна в качестве обратного провода (на судах валовой вместимостью менее 1600) для напряжения до 50 В (кроме цепей питания сигнально-отличительных фонарей, которые должны быть выполнены по двухпроводной системе, и в каждой цепи должен быть предусмотрен двухполюсный выключатель), при условии, что любой возможный ток не будет проходить непосредственно через любое из взрывоопасных помещений.

Для судовых высоковольтных установок трехфазного переменного тока напряжением от 1000 В до 15 кВ допускается применение трехпроводной изолированной системы, трехпроводной системы с нейтралью, соединенной с корпусом через высокоомный резистор или ре-

актор, четырехпроводной системы распределения ЭЭ с глухо заземленной нейтралью.

Допустимые напряжения на зажимах источников ЭЭ постоянного тока $U_{на}$ не должны превышать 500 В для силовых систем и 250 В для систем освещения, обогрева и штепсельных розеток. Для судовых установок постоянного тока допускается применение систем распределения ЭЭ: двухпроводной изолированной; однопроводной с использованием корпуса судна в качестве обратного провода (на судах валовой вместимостью менее 1600) для напряжения до 50 В (кроме цепей питания сигнально-отличительных фонарей, которые должны быть выполнены по двухпроводной системе) при условии, что любой возможный ток не будет проходить непосредственно через любое из взрывоопасных помещений. При использовании корпуса судна в качестве обратного провода все конечные цепи должны быть двухпроводными, а изолированный обратный провод должен быть заземлен на заземляющей шине распределительного щита, от которого цепь получает питание.

На судах валовой вместимостью 1600 и более допускается применение местных заземленных систем питания некоторых потребителей (при условии, что любой возможный ток не будет проходить непосредственно через любое из взрывоопасных помещений и пространств). К ним относятся системы электрического (аккумуляторного) пуска двигателей внутреннего сгорания, катодной защиты корпуса судна с наложенным током, контроля и измерения сопротивления изоляции.

Использование других систем распределения ЭЭ на судах является в каждом случае предметом специального рассмотрения Российским морским регистром судоходства (Регистром) [2].

Потери энергии при ее передаче ΔM_n обусловлены длиной линий электропередач (кабелей), сечением и материалом проводников, и др. Их значение может быть установлено по закону Джоуля-Ленца

$$\Delta M_n = aI^2 R_n t_s, \quad (1)$$

или в общем случае по формуле

$$\Delta W_n = \int_0^{t_s} \Delta P_n dt_s, \quad (2)$$

где a – коэффициент пропорциональности, зависящий от единиц измерения;
 I – полный ток при процессе передачи электрической энергии;
 R_n – активное (омическое) сопротивление линии электропередач (кабелей);
 t_s – время процесса передачи энергии;
 ΔP_n – потери мощности при передаче.

Связь потерь мощности ΔP_n (2) с размерными характеристиками проводников может быть установлена уравнением, представленным в [1]

$$\Delta P_n = k_m S \tau, \quad (3)$$

где k_m – коэффициент, учитывающий теплоотдачу проводников посредством конвекции, лучеиспускания и теплопроводности;
 S – поверхность проводников;
 τ – перепад температуры проводников.

Коэффициент полезного действия (КПД) процесса передачи ЭЭ определяется как

$$\eta_n = \frac{\Delta P_n}{P + \Delta P_n} = \frac{1}{\sigma}, \quad (4)$$

где P – передаваемая активная мощность;
 σ – относительное приращение потерь.

Выбор мероприятий, направленных на снижение потерь ЭЭ в электрических сетях, представлен, например, в [3].

Основные направления повышения энергоэффективности морского транспорта и транспортной инфраструктуры на стадии передачи ЭЭ могут быть выявлены при использовании выражений, определяющих технически допустимые значения передаваемой мощности [1]

$$P_{\max} = k_p \frac{\Delta P_n U_n^2 \cos^2 \varphi}{R L_{\Sigma}}; \quad (5)$$

$$P_{\max} = \left(k_w \frac{\Delta W_n U_n^2 \cos^2 \varphi}{R L_\Sigma} \right) \left(\frac{t_{\max}}{t_n} \right), \quad (6)$$

где k_p, k_w – коэффициенты пропорциональности;

U_n – номинальное напряжение сети;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности;

R – активное сопротивление единицы длины линии электропередачи (кабеля);

L_Σ – суммарная длина линии (кабелей);

t_{\max} – время процесса передачи энергии при максимальной нагрузке;

t_n – время выделения потерь.

Анализ зависимостей (5) и (6) позволяет сделать следующие основные выводы. К техническим мероприятиям, направленным на снижение потерь в электрических сетях, можно отнести повышение напряжения сети U_n ; снижение потоков реактивной мощности за счет использования рационального числа и мощности дополнительных устройств регулирования напряжения и внедрения компенсаторов реактивной мощности; увеличение сечения проводников линий электропередач (жил кабелей) с целью уменьшения активных составляющих сопротивлений линий электропередач (кабелей) R_n ; уменьшение суммарной длины линий (кабелей) L_Σ за счет оптимальной прокладки сетей (кабелей).

При аналитических определениях рациональных напряжений сетей используются интерполяционные теории Ньютона и Лагранжа и др. [4].

Тип, число и мощность дополнительных устройств регулирования напряжения (трансформаторов, преобразователей напряжения и т. д.) зависят от функциональных особенностей электроэнергетических систем (ЭЭС) и определяются на стадии проектирования и корректируются при модификациях систем.

Стремление к увеличению $\cos \varphi$ обусловлено уменьшением количественных значений реактивной мощности Q и векторной разности между активной P и полной S мощностью. Повышение коэффициента мощности, например, с 0,80 до 0,95 в системе с тремя подстанциями при передаче каждые 1000 МВт·ч ЭЭ уменьшает потери энергии с 90,0 МВт·ч до 32,4 МВт·ч, то есть экономия ЭЭ в этом случае составляет 57,6 МВт·ч [5].

Расчеты сечений проводников линий электропередач (жил кабелей) с целью уменьшения активных составляющих сопротивлений линий электропередач (кабелей) R_n (5) и (6) выполняются на стадии проектирования ЭЭС. Исходя из условия

$$S_n \geq S_{\max}, \quad (7)$$

где S_n – фактическое сечение проводников;

S_{\max} – максимально необходимое сечение.

Сечение S_n как правило превышает необходимое S_{\max} , поскольку существуют нормированные значения S_n . В частности, для судовых электрических сетей широко используются следующие сечения S_n медных жил (мм^2) [6]: 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 6,0; 10; 16; 25; 35.

Потери напряжения в кабелях ΔU_k могут рассчитываться по формулам, предложенным в [7] (в % от номинального напряжения U_n):

– для постоянного тока

$$\Delta U_k = \frac{k I_p I_k R}{U_n} 100; \quad (8)$$

– для переменного тока

$$\Delta U_k = \frac{k I_p I_k}{U_n} (R_1 \cos \varphi + X_1 \sin \varphi) 100, \quad (9)$$

где k – коэффициент пропорциональности ($k = 2$ для постоянного и однофазного переменного тока; $k = \sqrt{3}$ для трехфазного переменного тока);

I_p – расчетный ток нагрузки кабеля, А;

I_k – длина кабеля, м;

R – омическое сопротивление одной токопроводящей жилы кабеля при её расчетной температуре, Ом/м;

R_1 – активное сопротивление одной токопроводящей жилы кабеля при расчетной температуре жилы с учетом влияния частоты тока, Ом/м;

X_1 – индуктивное сопротивление, приведенное к одной токопроводящей жиле.

В (9) для трехфазного переменного тока U_n – номинальное линейное напряжение, В.

На рисунке приведены графики зависимостей потерь напряжения в одном метре кабеля $\Delta U_{к1}$ сетей в функции сечения S_n и коэффициента мощности $\cos \varphi$ для кабельных сетей переменного тока.

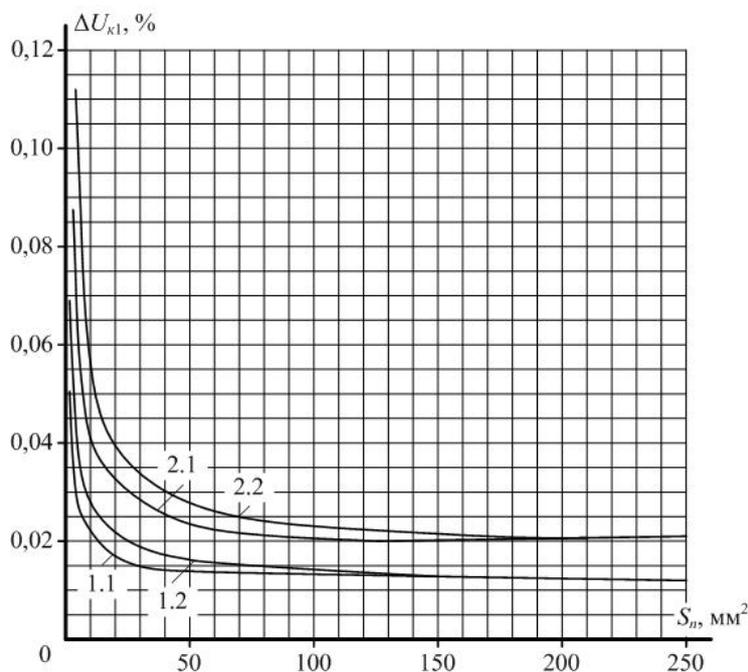


Рисунок – Графики зависимостей $\Delta U_{к1} = f(S_n, \cos \varphi)$ для кабельных сетей переменного тока напряжением 380 В: 1.1-при $\cos \varphi = 0,7$ и напряжением 220 В; 1.2-при $\cos \varphi = 0,9$ и напряжением 220 В; 2.1-при $\cos \varphi = 0,7$; 2.2-при $\cos \varphi = 0,9$

При построении графиков $\Delta U_{к1} = f(S_n, \cos \varphi)$ (рисунок) за основу приняты материалы, представленные в [6].

Необходимо отметить, что с увеличением частоты сети f_c переменного тока, потери напряжения $\Delta U_{к1}$ возрастают.

На основании уравнения

$$R_n = \frac{\rho_n L_\Sigma}{S_n}, \quad (10)$$

активные составляющие сопротивлений R_n наряду с сечениями S_n зависят и от удельных сопротивлений проводников ρ_n .

Длина линий (кабелей) L_Σ (5), (6) и (10) определяется на этапе выполнения проектно-конструкторских работ.

По данным, приведенным в [8], исходя из суммарной длины прокладываемых кабелей, суда могут быть условно объединены в шесть основных групп, определяемых показателем электромонтажных величин судов (ЭВС) (таблица).

Таблица – Зависимость суммарной длины судовых кабелей от показателя ЭВС

Показатель ЭВС	Группа судов	Суммарная длина кабелей, км
1	катера	<20
2	мелкие суда	20-60
3	малые суда	60-150
4	средние суда	150-250
5	большие суда	250-350
6	крупные суда	>350

Кроме того, следует отметить, что сопротивление проводников зависит и от их температуры

$$R_{\theta} = f(\theta_{\phi}),$$

где θ_{ϕ} – фактическая температура проводника.

В этом случае

$$R_{\theta} = R_p [1 + \alpha(\theta_{\phi} - \theta_p)], \quad (11)$$

где R_p – сопротивление проводников при расчетной температуре;

α – температурный коэффициент линейного расширения, значение которого зависит от материала проводников, $\alpha < 1$;

θ_{ϕ}, θ_p – фактическая и расчетная температура проводников, соответственно.

Таким образом, основные технические мероприятия, направленные на повышение энергоэффективности процесса передачи ЭЭ, выполняются на стадии проектирования и изготовления линий электропередач (кабельных сетей).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Поспелов, Г.Е. Потери мощности и энергии в электрических сетях / Г.Е. Поспелов, Н.М. Сыч. -М.: Энергоиздат, 1981. - 216 с.
- 2 Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов / Ч. XI: Электрооборудование. -СПб.: Рос. мор. регистр судоход., 2016. -129 с.
- 3 Железко, Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. -М.: Энергоатомиздат, 1989. -176 с.
- 4 Федоров, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Федоров, В.В. Каменева. -Изд. 3-е, перераб. и доп. -М.: Энергия, 1979. -408 с.
- 5 Исследование и разработка способов естественного повышения коэффициента мощности судоремонтных заводов: отчет о НИР: ХДТ-6/81 / Дальневост. высш. инж. мор. уч-ще им. адм. Г.И. Невельского; отв. исп. Осокин Б.В. -Владивосток, 1982. - 75 с. -№ГР 81006268; инв. №0282.0086489.
- 6 Справочник судового электротехника: в 3 т. / Под ред. Г.И. Китаенко. -Изд. 2-е, перераб. и доп. -Т. 1. -Л.: Судостроение, 1980. -528 с.
- 7 Шейнихович, В.В. Качество электрической энергии на судах: Справочник / В.В. Шейнихович, О.Н. Климанов, Ю.И. Пайкин, Ю.Я. Зубарев. -Л.: Судостроение, 1988. -160 с.
- 8 Гуменюк, В.М. Технология электромонтажного производства / В.М. Гуменюк. -Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2012. -219 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *электрическая энергия, потери мощности, морской транспорт, транспортная инфраструктура*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Бурков Алексей Федорович, канд. техн. наук, профессор ФГАОУ ВО «ДВФУ»
Веревкин Владимир Федорович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
Сарбнев Николай Викторович, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690950, г.Владивосток, ул.Суханова, 8, ФГАОУ ВО «ДВФУ»
690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЕ МАЛОТОННАЖНЫХ СУДОВ

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»
ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

А.Ф. Бурков, В.Ф. Веревкин

THE ELECTRIC PROPULSION LOW-TONNAGE VESSELS
Far Eastern federal university
Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
A.F. Burkov, V.F. Verevkin

The article examines the issues of electric propulsion systems low-tonnage vessels.

Keywords: small ships, electric propulsion, rowing electrical installation

Рассматриваются вопросы электродвижения малотоннажных судов.

Электродвижение судов начиналось с электрической лодки Б.С. Якоби. В наши дни также строятся небольшие суда с питанием гребных электродвигателей не только от современных аккумуляторных батарей разного типа, но и от электрохимических генераторов (топливных элементов) и солнечных элементов [1, 2].

Хотя электрохимические аккумуляторные батареи почти за два столетия претерпели существенное конструктивное изменение, их технико-экономические показатели (удельная энергия, продолжительность работы и др.) еще далеки от совершенства. Однако не стоит ждать того времени, когда статические источники электроэнергии будут иметь абсолютно совершенные технико-экономические показатели. Уже в настоящее время можно выделить ряд типов малотоннажных судов, для которых при умелом учете комплекса факторов (социальных, экологических, географических, конструктивных и др.) применение гребных электрических установок (ГЭУ) с использованием в первую очередь электрохимических источников электрической энергии (аккумуляторов) будет экономически целесообразно.

Наиболее ярким географическим районом возможного возрождения аккумуляторных электроходов может служить Владивосток. Изрезанная береговая линия, глубоко врезающиеся бухты и заливы способствуют широкому применению здесь малотоннажного флота. В недалеком прошлом, когда еще не были построены мосты, во Владивостоке ежегодно пассажирскими паромными и катерами перевозилось свыше восьми миллионов пассажиров. Только двумя пассажирскими паромными переправами через бухту Золотой Рог пользовались около пяти миллионов горожан в год [3].

Строительство и эксплуатация двух высоководных мостов во Владивостоке позволили кардинально решить транспортную проблему для «магистральных» пассажиров, но перебраться с одного близкого берега на другой при отсутствии морского пассажирского транспорта становится довольно продолжительной по времени процедурой. Наличие мостов не должно исключать использование водного транспорта. Например, в Пенанге (Малайзия) и Стамбуле (Турция) несмотря на наличие мостов, имеется большое количество морских автомобильно-пассажирских паромов, которые непрерывно совершают челночные рейсы.

На кафедре, в настоящее время «Электрооборудование и автоматика судов» (ЭОАС), Морского государственного университета им. адм. Г.И. Невельского многие годы ведутся теоретические и экспериментальные исследования ГЭУ малотоннажных судов, опубликован ряд работ по материалам исследований, защищены две кандидатские и одна докторская диссертации. Результаты исследований докладывались на нескольких всесоюзных научно-технических конференциях, на многих вузовских и межвузовских конференциях. Получено четыре патента, выполнен ряд хозяйственных и госбюджетных работ.

Результатом научно-исследовательских работ (НИР) стала разработка технико-экономических обоснований и технических заданий на проектирование и строительство малотоннажных судов для Владивостока с аккумуляторными и комбинированными электроэнергетическими установками [4, 5].

Были созданы две экспериментальные аккумуляторные ГЭУ для малотоннажных судов (одна подвесная для морского шестивесельного яла и одна стационарная для спасательной шлюпки – рисунок 1). Обе экспериментальные аккумуляторные установки прошли всесторонние испытания [6-8].

Для увеличения автономности малотоннажных судов с аккумуляторными энергоустановками можно использовать комбинированные (гибридные) энергетические установки, имеющие в своем составе и аккумуляторы и дизель-электрические генераторные агрегаты, которые в составе комбинированной энергоустановки работают в оптимальном режиме с наилучшими экологическими и экономическими показателями [9-11].

Теоретические исследования аккумуляторных ГЭУ малотоннажных судов показали, что наибольший расход емкости судовых аккумуляторных батарей происходит в маневренных режимах, а именно при пуске гребного электродвигателя и разгоне судна. Были выполнены исследования динамики пропульсивных комплексов аккумуляторных малотоннажных судов в маневренных и переходных режимах и даны рекомендации по оптимизации работы аккумуляторных ГЭУ в динамических режимах.

Результаты таких исследований отражены в ряде публикаций [12-14], а также оформлены в виде патентов Российской Федерации [15-17].

Применение аккумуляторных электроэнергетических установок на малотоннажных судах должно производиться по согласованию с Российским морским регистром судоходства (Регистром). Выполненная на кафедре «Электрооборудование судов» госбюджетная НИР «Разработка проекта Правил Регистра к аккумуляторным гребным электрическим установкам» была одобрена Тихоокеанской бассейновой инспекцией Регистра [18, 19].

Выполненные научно-исследовательские и технические работы, опубликованные статьи по малотоннажным аккумуляторным электроходам показали возможность их успешного

применения в городах-портах.



Рисунок 1 – Морская шлюпка со стационарной гребной электрической установкой на ходовых испытаниях в Амурском заливе

При разработке перспективного плана развития г. Владивостока сведения о малотоннажных судах были включены в сборник «Перспективы развития г. Владивостока: Материалы к проекту Концепции развития г. Владивостока до 2010 года» [20].

На Приморской венчурной ярмарке работа «Пассажирский паром с экологической и экономичной энергоустановкой для Владивостока» (автор – В.Ф. Веревкин) вошла в каталог экспозиции ярмарки [21].

К сожалению, до настоящего времени аккумуляторные суда не бороздят воды бухт и заливов Дальневосточного региона.

На рисунке 2 представлен эскиз общего вида аккумуляторного пассажирского парома, который мог бы осуществлять рейсы, например через бухту Золотой Рог во Владивостоке.

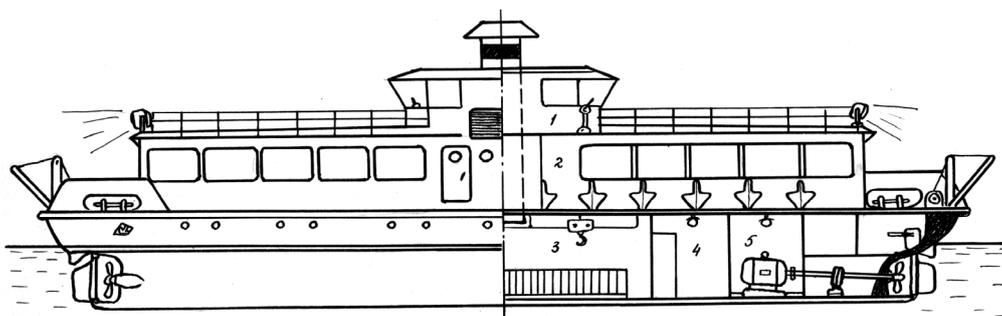


Рисунок 2 – Эскиз предполагаемого аккумуляторного пассажирского парома: 1-рулевая рубка; 2-пассажирский салон; 3-аккумуляторный отсек; 4-помещение электроцита; 5-помещение гребного электродвигателя

На кафедре ЭОАС выполнялись научно-технические работы не только по ГЭУ малотоннажных судов. Когда в 90-х годах XX столетия Дальневосточный бассейн стал пополняться ледокольно-транспортными судами с ГЭУ двойного рода тока типа «Витус Беринг», на которых отсутствовала техническая документация в достаточном объеме, совместно с судовыми электромеханиками был подготовлен и опубликован ряд работ, в которых рассматривались особенности эксплуатации ГЭУ этих судов и предлагались рекомендации по их эксплуатации и совершенствованию [22, 23].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Хаустов, А.Н. Электропаром «AMPERE» // -Судостроение. -2015. -№3. -С. 75.
- 2 Fuel cells -the future of power generation // Marine News. -2003. -No 2. -Р. 38-41.
- 3 Веревкин, В.Ф. Гребные электрические установки малотоннажных судов / В.Ф. Веревкин // Тр. НТО Судпрома им. акад.

- А.Н. Крылова: Вопросы теории, проектирования и электродвижения судов. -Л., 1971. -Вып. 163. -С. 177-181.
- 4 Технико-экономическое обоснование использования аккумуляторных энергетических установок на малотоннажных судах: отчет о НИР: ХДТ-3/2/8 / ДВВИМУ им. адм. Г.И. Невельского; рук. Веревкин В.Ф. -Владивосток, 1988. -48 с. №ГР 0188016953; инв. №028900115219.
- 5 Комбинированные энергетические установки малотоннажных судов: отчет о НИР: ХДТ- 9/3/93 / ДВГМА им. адм. Г.И. Невельского; рук. Веревкин В.Ф. -Владивосток, 1993. -31 с. №ГР 01940007387; инв. №02940004149.
- 6 Веревкин, В.Ф. Подвесной электромотор на лодке / В.Ф. Веревкин // -Катера и яхты. -1973. -№2(42). -С. 61-63.
- 7 Веревкин, В.Ф. Экспериментальная гребная электрическая установка для маломерного судна / В.Ф. Веревкин и др. // Науч. тр. ДВВИМУ им. адм. Г.И. Невельского: Судовые энергетические установки. -Вып.22. -Владивосток, 1974. -С. 140-146.
- 8 Веревкин, В.Ф. Аккумуляторная стационарная гребная электрическая установка катера / В.Ф. Веревкин и др. // -Мортехинформреклама. -1990. -№1155-мф. -7 с.
- 9 Веревкин, В.Ф. Гибридные энергетические установки для судов с ограниченным районом плавания / В.Ф. Веревкин // В кн.: Судовые энергетические установки. -М.: ЦРИА Морфлот. -Вып. 18. -1978. -С. 151-155.
- 10 Миханюшин, В.В. Возможности использования комбинированных энергоустановок на малотоннажных судах / В.В. Миханюшин // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2009. -№1. -С. 259-262.
- 11 Способ управления судовой комбинированной энергетической установкой: Патент RU 2483 972 / В.В. Миханюшин. -10.06.2013. -Бюл. №16.
- 12 Веревкин, В.Ф. Оптимизация разгона аккумуляторного электрохода // Науч. тр. ДВВИМУ им. адм. Г.И. Невельского. -Вып. 23. -Владивосток, 1974. -С. 139-144.
- 13 Веревкин, В.Ф. Анализ работы аккумуляторных ГЭУ в тормозных режимах / В.Ф. Веревкин, Ю.Т. Супрун // Тез. докл. науч. конф. -Мурманск: МВИМУ. -1990. -С. 139-144.
- 14 Супрун, Ю.Т. Разработка рациональных методов управления электроприводами движительного комплекса подводных аппаратов при совершении маневров / Ю.Т. Супрун, В.Ф. Веревкин, Г.Ю. Илларионов. -Л.: ЦНИИ Румб, 1991. -150 с.
- 15 Электромагнитное швартовное устройство: Патент на полезную модель RU 40286 / В.Ф. Веревкин, Л.Н. Слюсарев, И.А. Руденко. -10.09.2004. -Бюл. №25.
- 16 Способ разгона и торможения судна-электрохода при отходе-подходе его к пирсу с электрическим питанием от береговой сети: Патент на изобретение RU 2328408 / В.Ф. Веревкин, К.А. Реков. -10.07.2008. -Бюл. №19.
- 17 Способ использования судовой гидроэнергетической установки: Патент на изобретение RU 2396182 / В.Ф. Веревкин, Н.В. Чиняев. -10.08.2010. -Бюл. №22.
- 18 Разработка проекта Правил Регистра СССР к аккумуляторным гребным электрическим установкам: отчет о НИР: ГБТ-1/89 / ДВВИМУ им. адм. Г.И. Невельского; рук. В.Ф. Веревкин. -Владивосток, 1990. -31 с. №ГР 01890080172; инв. №020037598.
- 19 Веревкин, В.Ф. Учет правил Морского регистра судоходства при создании аккумуляторных электрокатеров / В.Ф. Веревкин // -Судостроение. -1996. -№8-9.
- 20 Веревкин, В.Ф. Электрификация внутригородского транспорта -залог повышения его экономической и экологической эффективности / В.Ф. Веревкин // Перспективы развития г. Владивостока: мат. к проекту Концепции развития г. Владивостока до 2010 года. -Ч. 1. -Владивосток, 1990. -С. 78-82.
- 21 Веревкин, В.Ф. Пассажирский паром с экологичной и экономичной энергоустановкой для Владивостока / В.Ф. Веревкин // Каталог экспозиции Приморской венчурной ярмарки. Экспонат 2.69. -2009.
- 22 Веревкин, В.Ф. Гребная электрическая установка судов типа «Витус Беринг» (СА-8) и её особенности / В.Ф. Веревкин // -Морской транспорт. Сер. Техническая эксплуатация флота. -1994. -Вып. 10(822). -С. 8-18.
- 23 Веревкин, В.Ф. Анализ эксплуатации ГЭУ судов типа «Витус Беринг» / В.Ф. Веревкин, А.П. Чуркин // -Морской транспорт. Сер. Техническая эксплуатация флота. -1994. -Вып. 10(822). -С. 18-28.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: малотоннажные суда, электродвижение, гребные электрические установки
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Бурков Алексей Федорович, канд. техн. наук, профессор ФГАОУ ВО «ДВФУ»
Веревкин Владимир Федорович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690950, г.Владивосток, ул.Суханова, 8, ФГАОУ ВО «ДВФУ»
690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

АНАЛИЗ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

**ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»
ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм.
Г.И. Невельского»**

А.Ф. Бурков, В.Ф. Веревкин, В.Н. Юрин

THE ANALYSIS OF OPERATING EXPERIENCE OF ELECTRIC MACHINES
Far Eastern federal university
Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
A.F. Burkov, V.F. Verevkin, V.N. Yurin

The article presents the results of the analysis of experience of operation of electric machines.

Keywords: failure, electric machine, electrical equipment, electrical insulation

Приведены результаты анализа опыта эксплуатации электрических машин.

В настоящее время в большинстве промышленных и транспортных механизмов используются электроприводы (ЭП). Согласно статистическим данным, ЭП оснащены примерно 85% всех двигательных и силовых механизмов [1, 2]. Основной составной частью ЭП являются электродвигатели (ЭД), которые потребляют ориентировочно до 75% от всей электри-

ческой энергии (ЭЭ), вырабатываемой в мире.

Для обеспечения безаварийной и эффективной эксплуатации электрических машин (ЭМ) необходимо уделять большое внимание важным вопросам диагностики состояния, техническому обслуживанию определению и устранению выявленных дефектов [3-5]. В частности, своевременно выявленные ухудшения диэлектрических характеристик электрических изоляций (сопротивления изоляции $R_{из}$, электрической прочности обмоток ЭМ и др.) и принятые меры к их улучшению требуют гораздо меньших затрат, чем замена обмоток после их разрушения.

В процессе эксплуатации ЭМ находятся под влиянием различных факторов (тепловой и электрической энергии, вибрации, влажности, химически агрессивных сред и др.), оказывающих влияние на надежность. Наиболее разрушительное действие этих факторов оказывается на электрическую изоляцию (ЭИ) электрооборудования (ЭО) [4, 6]. Одним из важных последствий воздействия указанных факторов на ЭО является старение ЭИ. Кроме того, по результатам выполненного анализа отказов ЭМ установлено, что на время безотказной работы ЭМ существенно влияет влажность окружающей среды [7, 8]. В изоляционных материалах происходят процессы абсорбции и сорбции влаги, значительно снижающие электрическую прочность. При частичных дефектах изоляции влага проникает в пустоты, способствуя процессу ионизации и локальным пробоям ЭИ в этих местах [8, 9]. Повышенная влажность, характерная для эксплуатационных условий судового ЭО, вызывает снижение электрического сопротивления изоляции, увеличивая токи утечки и потери в изоляции.

В таблице приведены данные по отказам компонентов ЭМ, работающих в береговых условиях [3].

Таблица – Ориентировочные данные по отказам компонентов ЭМ, работающих в береговых условиях

Отказавшие компоненты ЭМ	Бесколлекторные ЭМ, %	Коллекторные ЭМ, %
Обмотки статора	91,0	16,3
Обмотки ротора и щеточные устройства	6,7	64,0
Коллекторы	–	9,1
Подшипники	1,3	1,2
Прочие компоненты	1,0	9,4
Итого:	100	100

Наиболее часто встречающимися причинами отказов обмоток ЭМ являются повреждения межвитковой и корпусной ЭИ. Обобщенный анализ данных опыта эксплуатации, приведенных в [10, 11], показывает, что чаще всего ЭМ выходят из строя из-за износа или повреждения ЭИ. Неисправности

АД, связанные с понижением сопротивления изоляции $R_{из}$ обмоток ниже допустимых норм, составляют до 40%. Пробои ЭИ на корпус машин составляют около 24% от суммарного числа отказов.

При эксплуатационных испытаниях ЭО наряду с отказами обнаруживаются повреждения, включая пониженную электрическую прочность изоляции обмоток ЭМ, устранение которых производится при выполнении различных видов ремонтных работ. При продолжительном сроке эксплуатации, составляющим 15-20 лет, количество отказов, связанных с износом и старением изоляционных и других материалов возрастает. Влажность оказывает отрицательное влияние на качество изоляции, преимущественно микалентной, которое увеличивается с повышением температуры.

Эксплуатация судового ЭО, включая ЭМ, происходит в условиях, определяемых местом нахождения судов и особенностями, связанными с их назначением, местом установки и выполняемыми функциями. В процессе работы суда переходят из одной климатической зоны в другую.

Анализ опыта технической эксплуатации показывает, что состояние ЭИ при низких температурах изменяется незначительно. Наиболее сильное воздействие на техническое состояние ЭИ оказывают условия тропического климата.

Воздействие морского тропического климата приводит к распаду многих органических соединений. При этом снижается объемное и поверхностное сопротивление изоляционных материалов, растет угол диэлектрических потерь, повышается диэлектрическая проницаемость, снижается электрическая прочность и возрастает напряженность электрического поля в менее увлажненных участках. На поверхностях палубного ЭО собирается влага, которая за сравнительно короткие промежутки времени превращается в электролит, что приводит к поверхностному разряду и появлению токопроводящих дорожек на поверхности изоляции. Кроме того, повышенная влажность способствует появлению плесени, разъедающей

участки поверхности проводящих и изоляционных материалов. Наибольшее отрицательное влияние на качество изоляции оказывает комбинация из повышенной температуры и высокой влажности.

Значительные колебания суточных температур, высокая влажность, воздействия морской воды и туманов, насыщенных солью, создают повышенные климатические нагрузки на судовое ЭО и в других климатических зонах, в частности в умеренных и северных широтах.

Влага, проникая в материалы, инициирует попеременное увлажнение и высыхание ЭИ. В результате наружные и внутренние слои ЭИ изменяются в разной степени в размерах, а в поверхностных слоях образуются микротрещины, которые способствуют интенсивному проникновению влаги внутрь. При этом, чем больше частота изменений относительной влажности, тем быстрее ухудшаются электрофизические характеристики ЭИ. Таким образом, изменения температурных режимов и повышенная влажность являются факторами, способствующими ускоренному старению и разрушению ЭИ, и относятся к основным причинам отказов ЭМ [10, 12].

По данным, приведенным в [10], ориентировочная интенсивность отказов ЭМ зависит следующим образом от климатических условий (времени года): до 31% – весной; около 27% – осенью; до 25% – летом; около 17% – зимой.

На состояние ЭИ обмоток ЭМ оказывает влияние и интенсивность работы в течение суток. Коэффициент корреляции между временем безотказной работы ЭМ и временем работы в течение суток составляет $0,5 \pm 0,08$. Кроме того, при длительном промежутке времени нахождения ЭМ в нерабочем состоянии на ЭИ их обмоток часто появляется роса, которая проникает в микротрещины, снижая качество изоляции и сокращая время безотказной работы ЭМ.

К факторам, снижающим качественные характеристики ЭИ судового ЭО машинных, котельных и ряда других помещений, относится повышенная концентрация производных нефтесодержащих продуктов.

На процесс постепенного разрушения изоляции оказывают влияние и повышенные механические нагрузки при переходных процессах, вибрация, перегрузки по току, перенапряжения и пр. Участки с пониженной электрической прочностью могут появляться в результате неоднородности, например в зонах изгиба стержней обмотки ЭМ.

Понижение электрической прочности изоляции может быть вызвано повреждениями при предыдущих ремонтах и развиваться в процессе эксплуатации. При укладке стержней в пазы статоров ЭМ с большими зазорами возникает возможность их перемещения, что может привести к повреждениям ЭИ.

Кроме того, при попадании на поверхность ЭИ ферромагнитных частиц возникает их вибрация в магнитном поле работающих ЭМ, что приводит к постепенному разрушению изоляции. В процессе эксплуатации ЭМ с компаундированной ЭИ последняя может увеличиваться в размерах (разбухать). При этом происходит ее выпучивание и расслоение.

Необходимо отметить, что состояние ЭИ так же ухудшается в периоды ремонтов, когда ЭМ выведены из эксплуатации на длительное время и определенное время частично разобраны. При сопротивлении ЭИ $R_{из}$, соответствующей минимально допустимым нормам, её качественные характеристики ЭИ существенно улучшаются по истечении небольшого периода времени после ввода ЭМ в эксплуатацию. Исключения составляют случаи механических повреждений изоляционных слоев.

Эти выводы подтверждаются анализом отказов судового ЭО при выполнении ремонтных работ судоремонтным предприятием «Дальремсервис-плюс» с непосредственным участием авторов с 1999 г. по 2008 г. Основными видами деятельности предприятия являлись диагностика, техническое обслуживание и ремонт судового ЭО и оборудования автоматизации. За этот временной интервал выполнена оценка технического состояния изоляции более 900 ЭМ судов различного назначения Дальневосточного бассейна.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что в большинстве случаев (ориентировочно до 85%) отклонения сопротивления $R_{из}$ ЭИ от норм связано с увлажнением обмоток ЭМ. Отмечено увеличение количества ЭМ (примерно на 30%) с повышенным увлажнением изоляции в осенне-весенний период, когда влажность окружающей среды более высокая.

Требования к техническим характеристикам ЭИ и нормы сопротивления изоляции $R_{из}$ судового ЭО регламентируются Российским морским регистром судоходства [13], классифи-

кационными обществами других стран.

Специфические условия эксплуатации являются основной причиной повышенных требований, предъявляемых к судовому ЭО, включая ЭМ. Для получения лучших эффектов представляется целесообразным выполнение ремонтных работ по восстановлению качества изоляции обмоток крупногабаритных ЭМ на месте (в судовых условиях), с частичной их разборкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Котриков, К.П. Эксплуатация и ремонт судовых электрических машин / К.П. Котриков. -М.: Транспорт, 1981. -224 с.
- 2 Сердечнов, А.П. Ремонт электрооборудования: в 2 ч. Ч. 1. Ремонт электрических машин / А.П. Сердечнов. -2-е изд. - Минск: ИВЦ Минфина, 2008. -293 с.
- 3 Гольдберг, О.Д. Надежность электрических машин / О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемская. -М.: Академия, 2010. -288 с.
- 4 Маслов, В.В. Влагостойкость электрической изоляции / В.В. Маслов. -М.: Энергия, 1978. -208 с.
- 5 Гемке, Р.Т. Неисправности электрических машин / Р.Т. Гемке. -9-е изд. -Л.: Энергоатомиздат, 1989. -331 с.
- 6 Хомутов, С.О. Повышение эффективности восстановления изоляции электрических двигателей на основе комплексной оценки воздействующих факторов / С.О. Хомутов, Е.В. Кобозев, П.И. Семичевский // -Ползуновский вестник. -2009. -№1. -С. 220-229.
- 7 Грибанов, А.А. Обоснование параметров технологических процессов пропитки и сушки изоляции асинхронных электродвигателей, используемых в агропромышленном комплексе: Дисс... канд. техн. наук: 05.20.02 / Грибанов Алексей Александрович; Алт. гос. техн. унив. им И.И. Ползунова. -Барнаул, 2001. -225 с.
- 8 Вайда, Д. Исследования повреждений изоляции / Д. Вайда; пер. с венг.; под ред. Д.В. Разевига. -М.: Энергия, 1968. -400 с.
- 9 Ваксер, Н.М. Изоляция электрических машин / Н.М. Ваксер. -Л.: ЛПИ, 1985. -83 с.
- 10 Власов, А.Б. Исследование изоляции судовых электрических машин в процессе эксплуатации и судоремонта / А.Б. Власов // -Вестник Мос. гос. техн. унив. -2008. -Т.11. -№3. -С. 475-482.
- 11 Антонов, М.В. Эксплуатация и ремонт электрических машин / М.В. Антонов, Н.А. Акимова, Н.Ф. Котеленец. -М.: Высш. школа, 1989. -191 с.
- 12 Рябинин, И.А. Надежность судовых электроэнергетических систем и судового электрооборудования / И.А. Рябинин, Ю.Н. Киреев. -Л.: Судостроение, 1974. -264 с.
- 13 Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов: в 5 т. -Т. 2. -СПб.: Рос. мор. регистр судоход., 2015. -753 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

отказ, электрическая машина, электрооборудование, электрическая изоляция

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

*Бурков Алексей Федорович, канд. техн. наук, профессор ФГАОУ ВО «ДВФУ»
Веревкин Владимир Федорович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

*Юрин Валерий Николаевич, доцент ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
690950, г.Владивосток, ул.Суханова, 8, ФГАОУ ВО «ДВФУ»
690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТУПЕНЕЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

В.З. Манусов, У. Бумцэнд, В.В. Фролова

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TRANSFORMATION STAGES IN THE DISTRIBUTION ELECTRIC GRIDS OF THE RUSSIAN FEDERATION AND THE EUROPEAN UNION

Novosibirsk state technical university

V.Z. Manusov, U. Bumtsend, V.V. Frolova

The paper presents a comparative analysis of nominal voltage scales in the distribution and electrical grids forming system of Russia and Europe. It is shown that Russia uses an excessively wide scale of nominal voltages, which will lead to an excessive number of stages of transformation and, as a consequence, an increase in the total transformer capacity and a significant increase in the losses of active power in them. The above static data show that the structure of Russia's distribution networks is rather archaic and requires large maintenance costs as well as a significant increase in power losses and an increase in the cost of electricity transmission.

Keywords: distribution electrical networks, transformation stages, power losses, nominal standard voltage

Представлен сравнительный анализ шкал номинальных напряжений в распределительных и системообразующих электрических сетях России и Европы. Показано, что в России используется чрезмерно широкая шкала номинальных напряжений, что введет к избыточному числу ступеней трансформации и как следствие увеличению общей трансформаторной мощности и значительному увеличению потерь активной мощности в них. Приведенные статические данные показывают, что структура распределительных сетей России достаточно архаична и требует больших затрат на обслуживание а также к значительному увеличению потерь мощности, и увеличению стоимости передачи электроэнергии.

Системообразующие и распределительные электрические сети РФ состоят из многочисленных ступеней стандартных номинальных напряжений, которая значительно шире напряжений Европейского Союза. Это приводит к тому, что трансформаторная мощность при преобразовании этих напряжений является одной из самых больших в мире. В свою очередь это ведет к значительному перерасходу электроэнергии при ее передаче. Распределительные электрические сети являются финальной стадией передачи электрической энергии между электроэнергетической системы и потребителями электроэнергии.

Общая характеристика распределения электроэнергии Европейского Союза. Предполагается, вложить до 2020 года 600 млрд. евро в европейскую промышленность. Из них 400 млрд. в распределительные электрические сети. В Европе существует 2400 компании распределяющих электроэнергию, в которых работают 240 000 сотрудников. При этом подключено 260 млн. потребителей, из которых 99% потребителей резиденты и малые предприятия, которые потребляют 2700 ТВт·ч электрической энергии в год.

Распределительные электрические сети Европы характерны следующие основные черты:

Разнообразие – электрические распределительные сети работают в различных экономических условиях, с различным числом электропотребителей, разными характеристиками сети, как с хорошей инфраструктурой сети, так и с устаревшей. Используются различные тарифы и различные преференции.

Надежность – управление Европейской распределительной электрической системы осуществляется очень квалифицировано и обеспечивает высокий уровень надежности электроснабжения и качества электрической энергии своих потребителей. При управлении распределительными сетями и их интеграции, возникает проблема снижения рисков от переменной и плохо предсказуемой генерации возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и резком изменении нагрузок, таких как электрические транспортные средства. Это требует значительных инвестиций в распределительные электрические сети, включая умные сети (Smart Grid).

Управление – играет ключевую роль в качестве посредника между генерирующими компаниями и распределительной электрической сети. До 80% электропотребителей должны иметь умные счетчики и уже 16 стран приняли такое решение.

Распределительные электрические сети в Европе выполняют две ключевые функции:

– оперативное управление генерацией и электропотреблением, как нейтральный посредник, обеспечивающий высокий уровень системной надежности, безопасности и качество функционирования;

– развитие распределительной электрической сети, чтобы обеспечить недискриминационный доступ других электропотребителей к источникам генерации и инфраструктуре, повышает их роль в управлении и измерений электрической энергии а также информирований о подключений энергоснабжающих организации.

Ниже представлена обобщающая картина напряжений различных классов, встречающихся от 28 стран Европейского Союза, которые сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Стандартное напряжение электрических сетей в Европейских странах и их процентное соотношение, кВ

Стандартное напряжение электрических сетей в Европейских странах	Среднее напряжение						Высокое напряжение			Сверхвысокое напряжение	
	3	6	10; 11	15	20; 22	35	65; 66	110, 115	150	220; 230	400
Количество стран использующих класс данного напряжения	2	11	17	7	21	6	6	18	3	27	25
Процент, %	7	39	61	25	75	21	21	64	10,7	96	90

Таким образом, основные распределительные сети Европейского Союза содержат следующие ступени напряжения: 10-11 кВ (60,7%), 20-22 кВ (75%), 110-115 кВ (64%), 220-230 кВ (96%), 400 кВ (90%). В отдельных странах между 20 кВ и 110 кВ существует промежуточная ступень стандартного напряжения 35 или 65 кВ, причем 35 кВ это устаревшие линии Прибалтики и Восточной Европы. Таких стран менее 10%.

В целом Европейские распределительные электрические сети можно разделить на следующие 4 класса:

– низкое напряжение (low voltage, LV) 230 В, 660 В;

- среднее напряжение (medium voltage, MV) 10, 20 кВ (35 кВ);
- высокое напряжение (high voltage, HV)..... 110-115 кВ (65 кВ);
- сверхвысокое напряжение (extra high voltage, EHV)..... 220-230 кВ, 400 кВ.

Резюмируя сказанное, можно классифицировать Европейскую систему стандартных номинальных напряжений свыше 1000 В следующим образом: 10 кВ, 20 кВ, 110 кВ, 220 кВ, 400 кВ, которая выбрана более чем 70% стран Европы. Видно, что эта система трансформации достаточно экономична, так как содержит всего 5 ступеней трансформации.

Надежность электроснабжения Европейского союза. Распределительные электрические сети Европейского союза характеризуется высокой надежностью электроснабжения. Перерывов в электроснабжении, которые возникают в реальной действительности весьма невелики и представлены на рисунке 1.

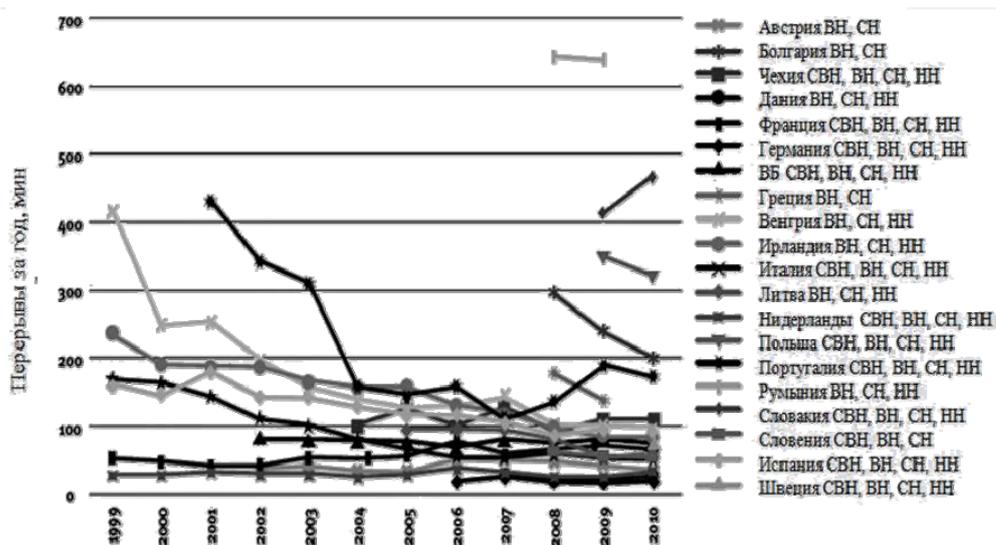


Рисунок 1 – Время перерыва электроснабжения Европейского Союза

Как видно из рисунка в большинстве Европейских стран перерывы электроснабжений за 10 лет с 1999 года по 2010 год снизились с 400 минут в среднем до 30-100 минут и меньше. За исключением стран Румынии, Болгарии, Словакии и Польши. Данные перерывы отражают длительные незапланированные перебои с электроснабжением и аварийные отключения. Снижение в продолжительности отключений объясняется в дополнительном резервированием линии, повышением надежности высоковольтного электрооборудования и улучшением качества обслуживания.

Основные параметры электрических сетей России. Электроэнергетическая система России включает в себя системообразующие электрические сети и распределительные электрические сети. В России используется следующая шкала стандартных напряжений [2]:

- до 1 кВ – 110 В, 220 В, 380 В, 660 В, 1000 В;
- свыше 1 кВ – 3 кВ, 6 кВ, 10 кВ, 15 кВ, 20 кВ, 35 кВ, 66 кВ, 110 кВ, 132 кВ, 220 кВ, 330 кВ, 400 кВ, 500 кВ, 750 кВ, 1150 кВ.

Как видно, страна имеет чрезмерное количество ступеней трансформации, что приводит к существенному снижению энергоэффективности Российской энергетики. Так по данным «Федеральной службы государственной статистики», величина потерь электроэнергии в электрических сетях в 2015 году составила 106,5 млрд. кВт·ч, что составляет 10,5% от всего электропотребления [1].

Это выше чем в Европейском Союзе, где потери составляет около 7%. При этом доля потерь мощности и энергии в России может быть еще ниже, так как значительная часть электроэнергии большим промышленным комплексам и предприятиям предлагается на более высоком напряжении. Следует иметь в виду, что потери в сетях промышленных предприятий статистикой не учитываются. Предполагается, что эти потери составляют около 3%. С учетом этого допущения реальные суммарные потери составляет 13,5%, причем в неко-

Таблица 2 – Протяженность линий электропередачи

Напряжение, кВ	Протяженность линий (в 1-цепном исчислении), тыс. км
0,4-0,6	1191
3-20	1174,8
35-110	490,5
220	102,16
330	11,38
500	40,08
750	3,57

Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока №1-2 2017

торых электросетевых предприятиях потери достигают 20%. Согласно данным Минэнерго РФ, в 2011 году потери в сетях Федеральной сетевой компании (ФСК) составили 5% от объема поступления электрической энергии в сеть, в сетях холдинга Межрегиональных распределительных сетевых компаний (МРСК) – 8,4%. Протяженность линий всех классов напряжения дана в таблице 2.

Кроме того увеличение потерь в распределительных сетях России обусловлено излишне большим коэффициентом мощности $\text{tg}\varphi$. Так например, рекомендуемый $\text{tg}\varphi$ для линий электропередачи напряжением 110 кВ равен 0,5. Это создает дополнительное увеличение потерь активной мощности на 25%. Наряду с этим увеличению потерь способствует несинусоидальность и несимметрия режимов, что также повышает уровень потерь мощности примерно на 25% [3]. Следует заметить, что методы расчета установившихся режимов в этих условиях недостаточно проработаны. Поэтому истинная величина потерь активной мощности при несинусоидальности и несимметрии режимов трехфазной сети еще требует дополнительного исследования. Наконец увеличению потерь также способствует большое число ступеней трансформации в распределительных электрических сетях России.

Из-за большого числа ступеней трансформации в России потери мощности составляют в трансформаторах примерно 50% от общих потерь при транспорте электроэнергии [2]. В связи с этим в России следовало бы перейти на следующие ступени напряжения. Напряжения 3 и 6 кВ исключить, линии 10 кВ перевести на 20-25 кВ, далее 35 кВ перевести на 66 кВ и далее сохранить существующую систему: 115 кВ, 230 кВ, 500 кВ и 750 кВ. Таким образом, система ступеней напряжения могла бы иметь вид: 230 В, 400 В, 660 В, 20 кВ, 66 кВ, 115 кВ, 230 кВ, 500 кВ, 750 кВ. В этом случае число ступеней трансформации значительно сокращается для низких и средних напряжений, что позволит снизить потери примерно в 4 раза.

Другой вариант может состоять из следующих ступеней напряжений: 230 В, 400 В, 660 В, 15 кВ, 35 кВ, 115 кВ, 230 кВ, 500 кВ и 750 кВ. Для этой системы линии 6-10 кВ можно перевести на 15 кВ. Это приведет к снижению потерь примерно 2 раза.

Надежность электроснабжения России. Аварии в сетях 6-10 кВ составляют около 70% всех нарушений электроснабжения потребителей. Особенно тяжелые последствия вызывают массовые гололедные и ветровые аварии на ВЛ напряжением 6-10кВ.

Технический уровень и срок службы силовых трансформаторов и электрооборудования в значительной мере являются показателями надежности сети и определяют допустимые значения продолжительности отключений.

Таблица 3 – Динамика технологических нарушений

Показатели	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
Количество аварий, в том числе:	6168	11758	11684	13336	10608
Воздействие стихийных явлений	2005	2022	1838	1849	2409
Воздействие посторонних лиц и организаций	497	551	1006	902	1057
Недоотпуск электроэнергии, тыс. кВт·ч	2882,8	2344,8	2456,9	6337,6	5249
Перерыв электроснабжения, ч	54829,6	11977,3	104666,9	76534,4	27894
Экономический ущерб, тыс. руб	212404	48313	46679	70367	67514

Реконструкции и техническому перевооружению подлежат подстанций (ПС), находящиеся в эксплуатации 25-30 лет. Для обеспечения надежности электроснабжения необходимо коренное обновление сетей 0,4-20 кВ с учетом нарастания их износа, которому требуется ежегодно вводить в действие около 120 000 км линий различного напряжения и реконструировать до 10000 трансформаторных подстанций (ТП).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Федеральная служба государственной статистики. -Режим доступа: <http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstatmain/rosstat/ru/statistics/enterprise/industrial/#.-01.06.2017>.
- 2 ГОСТ 29322-2014 (IEC 60038:2009). Стандартные напряжения. –М.: Стандартинформ, 2015. –13 с.
- 3 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, NSTU - Novosibirsk, - P. 276-280.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *распределительные электрические сети, ступени трансформации, потери мощности, номинальное стандартное напряжение*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «НГТУ» Бумцэнд Уянгасайхан, аспирант ФГБОУ ВО «НГТУ» Фролова Вероника Владимировна, аспирант ФГБОУ ВО «НГТУ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВО «НГТУ»*

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет»
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»
ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»

Г.Б. Горелик, С.В. Викулов, Е.И. Кончаков

THE VALUATION OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF FOREIGN TECHNOLOGIES OF REGENERATION OF WORKED OIL MATERIALS

Pacific ocean state university
Siberian state university of water transport
Far Eastern federal university
G.B. Gorelik, S.V. Vikulov, E.I. Konchakov

The estimation of ecological safety of technologies of regeneration of the fulfilled lubricants in the aspect of energy-resource saving of natural reserves of hydrocarbons is given. The main foreign technologies for regeneration in developed industrial countries are presented, where their installations are successfully used for a long time. The advantages and disadvantages of regeneration of used oils and ways to improve them are discussed.

Keywords: estimation of ecology safety, technologies of regeneration, used oil materials, regenerated oil, methods and plants of oils regeneration

Дана оценка экологической безопасности технологий регенерации отработанных смазочных материалов в аспекте энерго-ресурсосбережения природных запасов углеводородов. Приведены основные зарубежные технологии по регенерации в развитых промышленных странах, где успешно реализующие их установки используются длительное время. Рассмотрены преимущества и недостатки процессов регенерации отработанных масел и пути их совершенствования.

Сложная экологическая обстановка в мире является в значительной мере следствием постоянного увеличения количества промышленных и бытовых отходов, а также неудовлетворительной их переработки [1, 3]. Основную часть отходов, образующихся на промышленных и транспортных предприятиях, составляют отработанные смазочные материалы (ОСМ), которые являются одним из главных источников загрязнения окружающей среды, так как не утилизируемые отработанные масла наносят ей непоправимый ущерб [2-4].

Проблемы экологической безопасности применения смазочных материалов неотделимы от утилизации ОСМ, которые в настоящее время являются одними из наиболее распространенных техногенных отходов, негативно влияющих на все объекты окружающей среды – атмосферу, почву и воды. Только загрязнение вод отработанными нефтяными маслами составляет 20% общего техногенного загрязнения, или 60% загрязнения нефтепродуктами [3, 8]. Некоторые из них обладают канцерогенными свойствами и длительно не распадаются в естественных условиях. Так, минеральное масло разлагается в почве на 25% через 7 суток и на 45% через 21 день [1, 3, 6].

Необходимость утилизации ОСМ в настоящее время ни у кого не вызывает сомнений, поскольку их захоронение и уничтожение порождают подчас еще большие экологические проблемы, чем сами ОСМ. При этом весьма важно, чтобы процессы утилизации сами по себе не представляли существенной угрозы биосфере [7, 10].

Важным аргументом в пользу применения регенерированных масел является также ограниченность ресурсов нефти и то, что отработанные масла по своей органической структуре являются ценным оборотным продуктом, даже после неоднократного использования. При регенерации одной тонны отработанных масел может быть получено 0,6-0,8 т базового масла, на выработку которого обычно требуется более 6 т нефти [2, 7].

Комплексное использование сырья – наиболее полное, экономически и экологически оправданное использование всех полезных компонентов, содержащихся в сырье. Выдвигается задача решения экологических проблем в процессе производства, на основе принципиально новых технологических решений [5, 8, 9].

Цена минеральных масел составляет значительную долю в себестоимости производимой продукции. Важную роль в этом случае имеют трибологические свойства регенерированного масла, уровень которых определяется применяемыми методами, техническими средствами и технологиями регенерации. На современном этапе развития промышленности

и транспорта возрастающие требования к качеству смазочных материалов требуют максимального улучшения трибологических свойств регенерированных масел. При этом, наряду с тщательным удалением продуктов старения и загрязнения из отработанных масел, необходимыми условиями получения высококачественных очищенных масел являются: оптимизация технологических параметров технических средств для регенерации масел, текущий контроль качества регенерированных масел и рациональные сроки проведения технического обслуживания регенерационного оборудования. Существует немало технологий вторичной переработки ОСМ. Среди различных направлений наиболее важное место отводится методам регенерации – полного восстановления их первоначальных свойств с целью повторного использования по прямому назначению [1, 5, 8].

Здесь рассмотрены основные направления решения проблемы, описаны важнейшие технологические процессы для всех видов ОСМ и дана оценка экологической безопасности технологий регенерации ОСМ [2, 4, 6].

Наиболее эффективным с точки зрения экологии можно считать процесс фирмы Meicken, принципиальная схема которого представлена на рисунке 1. Такая технология считается традиционной для сернокислотной очистки.

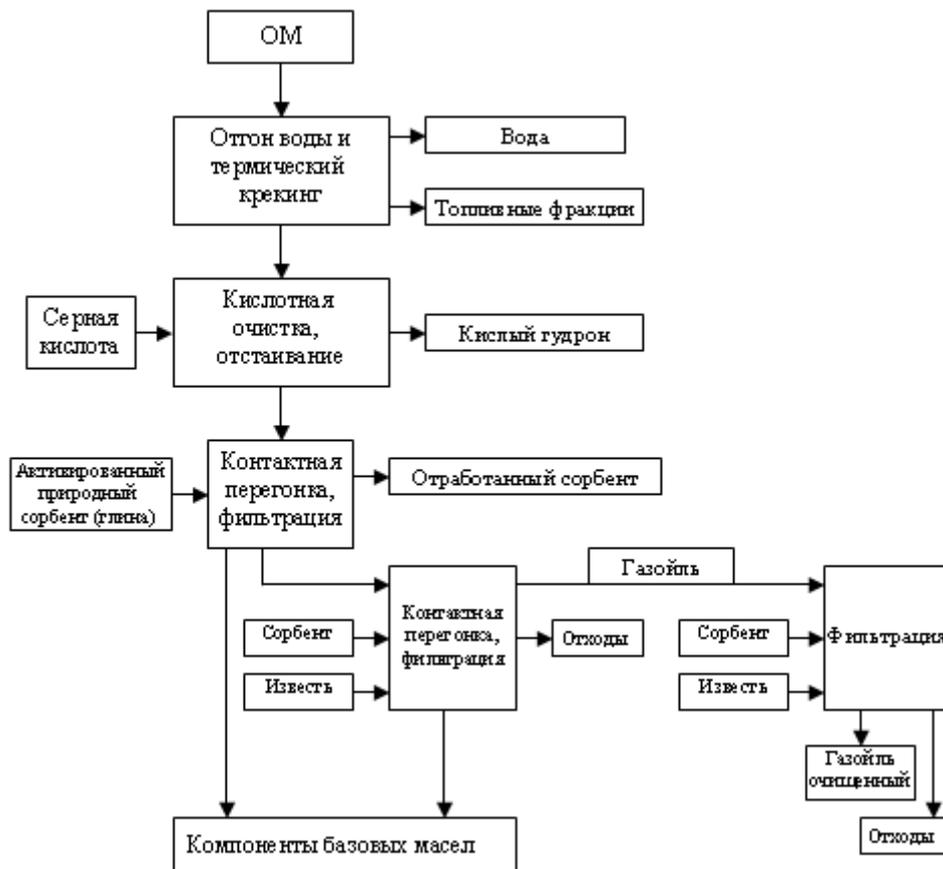


Рисунок 1 - Схема процесса Meicken

Ценные для масел циклопарафины серной кислотой не затрагиваются и после отделения кислого гудрона промываются водным раствором щелочи (например, NaOH), которая нейтрализует остатки серной кислоты и кислого гудрона. Очистка заканчивается промывкой масла водой и его последующим обезвоживанием. Однако, будучи разновидностью сернокислотной очистки, этот метод имеет те же недостатки, что и другие методы – не обеспечивает удаление из отработанных масел полициклических ароматических углеводородов и высокотоксичных соединений хлора. Нельзя также регенерировать серной кислотой современные масла, совместимые с окружающей средой (синтетические сложные эфиры и сложные эфиры растительного происхождения), поскольку серная кислота разлагает их, что, в частности, увеличивает выход кислого гудрона.

Адсорбционная очистка занимает второе место по объему промышленного применения и осуществляется:

- контактным методом – масло перемешивается с измельченным адсорбентом;

- перколяционным методом – очищаемое масло пропускается через адсорбент;
- методом противотока – масло и адсорбент движутся навстречу друг другу.

Наиболее широко контактную очистку применяют на предприятиях в США. Схема предусматривает отгон воды и топливных фракций с последующей контактной очисткой. В качестве сорбентов используют активированные глины. Этот сравнительно простой процесс позволяет получать базовые масла стабильного и высокого качества, после чего их смешивают со свежими и добавляют необходимые присадки. К недостаткам такой технологии следует отнести отсутствие контроля вязкости и пределов кипения получаемого продукта, а также большие потери масла с сорбентом.

Также можно выделить процесс фирмы Rotovac (Финляндия), технологическая схема процесса представлена на рисунке 2.

В этой схеме предварительно отстаиваемое от воды и шлама масло подвергается фильтрации, атмосферной и вакуумной перегонке. После этого производят контактную очистку кислотно-активированным диатомитом и ввод присадок. При такой технологии образуются следующие отходы: остаток вакуумной перегонки, используемый в качестве топлива или наполнителя в дорожных и кровельных битумах, а также отработанный сорбент.

При перколяционной очистке в качестве адсорбента чаще всего применяется силикагель, что делает этот метод дорогостоящим. К тому же необходимо утилизировать большое количество адсорбента, загрязняющего окружающую среду.

Наиболее перспективным методом является очистка масла в движущемся слое адсорбента, при котором процесс протекает непрерывно, однако применение этого метода связано с использованием довольно сложного оборудования, что сдерживает его широкое распространение.

Основной недостаток адсорбционной очистки, связанный с экологической безопасностью, заключается в утилизации большого количества отработанного сорбента, представляющего опасность для окружающей среды. Использование синтетических сорбентов, обладающих высокой термической стабильностью, дает возможность их многократного использования. Конечно же, такие сорбенты более дорогостоящие, но они позволяют снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Известно несколько промышленных процессов с использованием гидроочистки – IFR и Snamprogetti. Эти процессы также включают стадии перегонки при атмосферном давлении, экстракции пропаном, вакуумной перегонки, термообработки полученного остатка (300-450 °С) и, соответственно, гидроочистки.

Также в качестве основной стадии гидроочистку использует компания UOP (Великобритания). Ее схема представлена на рисунке 3.

Гидроочистку проводят под давлением до 2 МПа в присутствии различных катализаторов и водорода при температуре 380-400 °С. Для защиты катализаторов гидроочистки от загрязнителей отработанных масел также используются сорбенты.

В последнее время все шире применяют гидрогенизацию, которая является наиболее

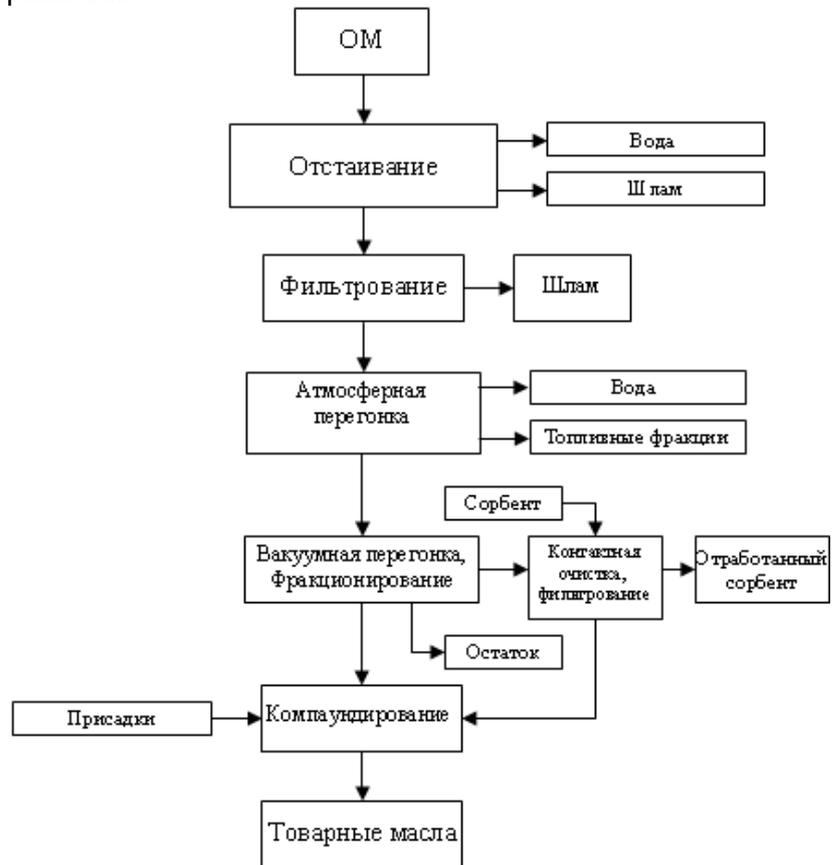


Рисунок 2 - Схема процесса Rotovac

совершенным способом очистки масел. Это связано как с широкими возможностями получения высококачественных масел и увеличения их выхода, так и с большой экологической чистотой этого процесса по сравнению с сернокислотной и адсорбционной очистками.

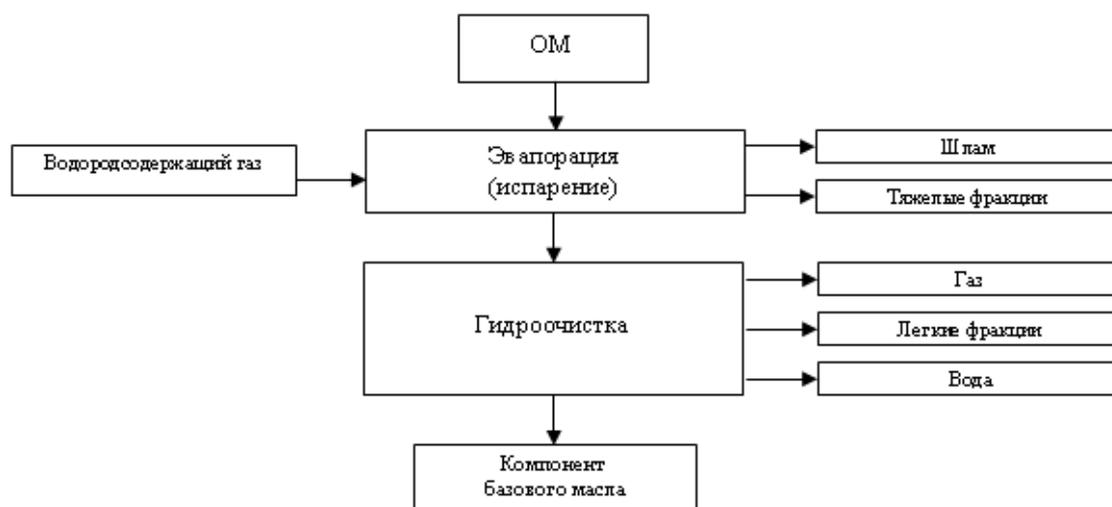


Рисунок 3 - Схема процесса UOP и КТИ

Экстракционная (селективная) очистка – это современный и эффективный способ очистки масел, особенностью которого является возможность в процессе очистки многократного использования селективных растворителей, ее принцип заключается в следующем: подбирают растворитель, который при определенной температуре и количественном соотношении с очищаемым маслом выборочно (селективно) растворяет в себе все вредные примеси и плохо или совсем не растворяет очищаемый продукт, в данном случае – масло. В качестве селективных растворителей и веществ, как правило, применяют фурфурол и фенол. Очень важно правильно выбрать как соотношение масла и растворителя, так и температуру, при которой осуществляют процесс очистки.

Для получения качественной очистки высоковязких остаточных масел используют метод парных растворителей. Причем, один из них должен выборочно растворять вредные примеси, а другой – очищаемое масло, тем самым разделяя сырье на очищенную и загрязненную фракции. При растворении примесей применяют крезол с 30-50% фенола, а при растворении рафинада – пропан. С целью поддержания пропана в жидком состоянии очистку производят под давлением до 2 МПа. При таком методе углеводороды масла растворяются в пропане, а асфальтосмолистые вещества, находящиеся в масле в коллоидном состоянии, выпадают в осадок.

Перспективным процессом вторичной переработки моторных масел является тонкопленочное испарение, хотя предложено уже сравнительно давно. В качестве основной стадии тонкопленочное испарение используют установки процесса КТИ (Нидерланды), которые также включают стадии гидроочистки и фракционирования. Принципиальная схема процесса КТИ (см. рисунок 3).

Близкая к КТИ схема разработана компанией Booth Oil Co., Inc. (США), единственное отличие заключается в наличии такой стадии как адсорбционная очистка. Остаток тонкопленочного испарения в данном случае можно использовать в качестве топлива или компонента асфальтового покрытия.

Процесс Lubrex (Buss AG Verfahrenstechnik Luwa, Швейцария), по своей схеме также напоминающий процесс КТИ, помимо основной стадии тонкопленочного испарения включает также химическую очистку гидрокарбонатом или гидроксидом натрия при температуре 230-260 °С. Этот процесс осуществлен на 13 промышленных установках общей мощностью 160 тыс. т/г.

В процессе Mohawk Lubricants (Канада) предусмотрены однократное испарение сырья, вакуумная перегонка, двухступенчатая перегонка в тонкопленочных испарителях и гидроочистка с последующей обработкой масла гидроксидом натрия (рисунок 4).

Здесь образующиеся отходы (остаток вакуумной перегонки и отработанный гидроксид натрия) используют в производстве дорожного и кровельного битумов и в целлюлозно-бумажной промышленности, соответственно.

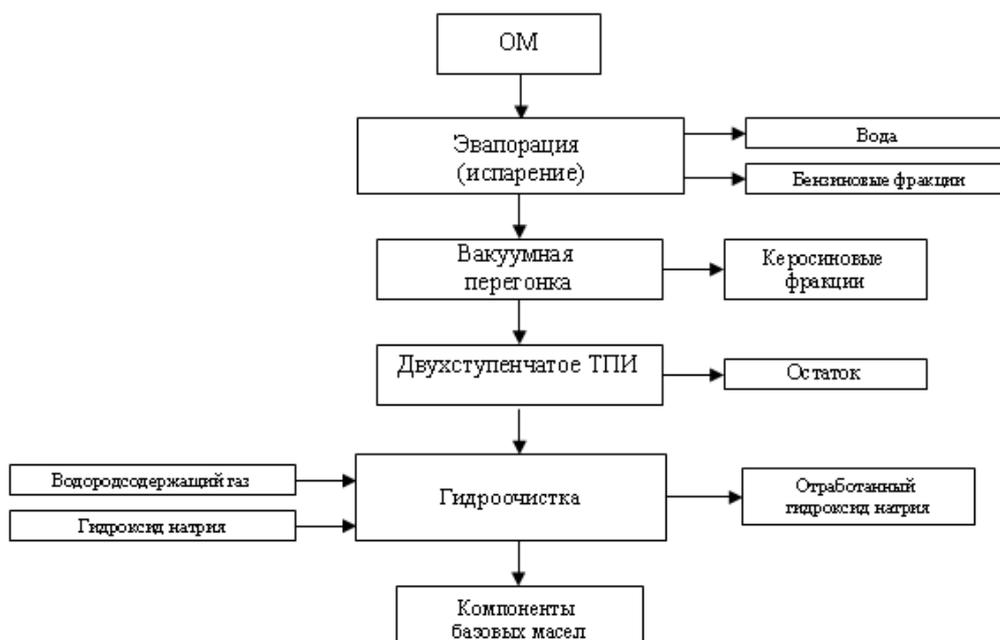


Рисунок 4 - Схема процесса Mohawk Lubricants

Ультрафильтрация относится к методам, основанным на фильтрации через специальные мембраны, фильтрующие на молекулярном уровне, которые, например, пропускают молекулу углеводородов и задерживают молекулу продуктов окислительной полимеризации и другие нежелательные примеси. Этот метод еще не получил широкого применения при очистке моторных масел.

Характерным примером комбинированного процесса вторичной переработки ОМ с использованием ультрафильтрации является Regelub (Франция), принципиальная схема которого представлена на рисунке 5.

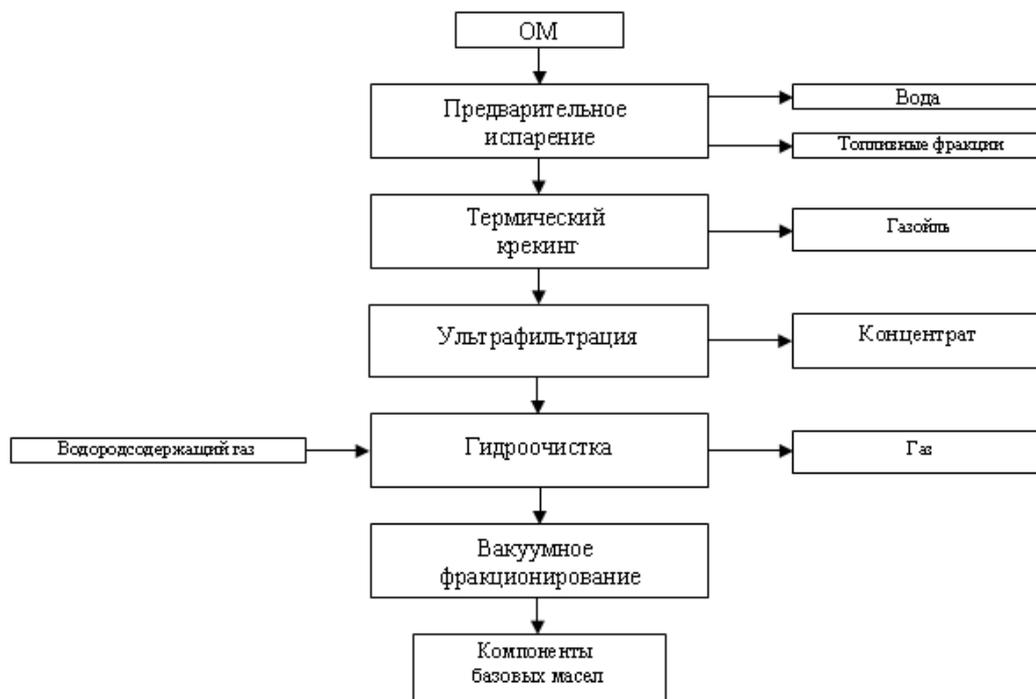


Рисунок 5 - Схема процесса Regelub

Этот экологически чистый процесс предназначен для переработки отработанных моторных и промышленных масел. А отходы, которые образуются в процессе очистки, легко утилизируются.

Термический крекинг и последующая серноокислотная очистка основаны на последовательных процессах. Примером может служить производство компонентов масел по немец-

кой технологии ENTRА. На рисунке 6 представлена схема этого процесса. Использование при крекинге натрия и природного сорбента дает дополнительные гарантии удаления экологически опасных продуктов.

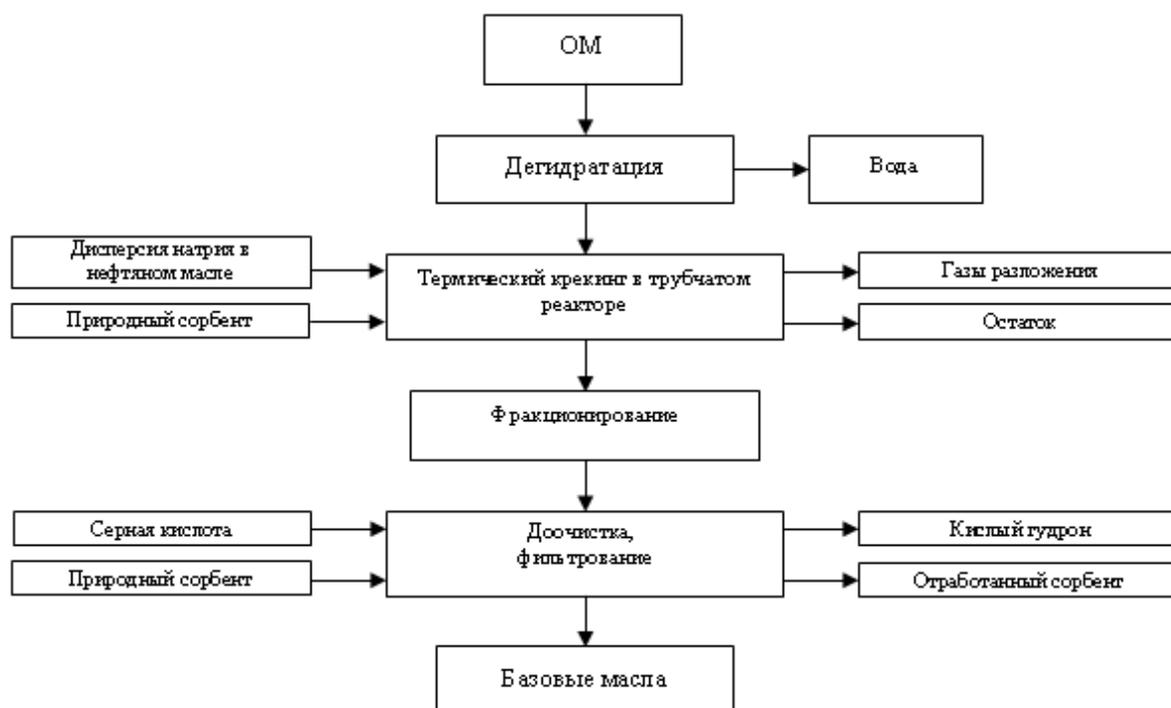


Рисунок 6 - Схема процесса ENTRА

К преимуществам данной технологии относятся высокий уровень экологической безопасности и малоотходность технологического процесса.

Среди применяемых в промышленности процессов особняком стоит технология PROP (компания Phillips Petroleum, США) и процесс Resyclon (Франция и Германия) с максимальной экологической безопасностью.

Но не все методы могут продемонстрировать действительно высокий уровень предотвращения загрязнений, связанных с образованием отходов и использованием тех или иных реагентов в процессе регенерации.

Выводы. Самыми небезопасными с точки зрения экологического воздействия на окружающую среду являются методы, основанные на очистке ОСМ серной кислотой. И, несмотря на это, на практике традиционный вариант кислотно-контактной переработки ОСМ при его известных недостатках достаточно широко применяют во многих странах мира. Иногда он используется в комбинации с вакуумной перегонкой, с обработкой пропаном, фурфуролом и сорбентами, что немного снижает объем использования серной кислоты, а, следовательно, и снижает образование такого токсичного отхода как кислый гудрон. Среди сернокислотных процессов с точки зрения экологии наиболее эффективен процесс фирмы Meipken. Он занимает доминирующее положение во всей вторичной переработке ОСМ. На его долю приходится около 60% всех установок. Но, сравнивая с другими методами регенерации, по своим экологическим характеристикам он проигрывает. А то, что процессы, основанные на сернокислотной очистке, занимают первое место по объемам переработки во всем мире, объясняется лишь их экономической выгодой.

Самыми «чистыми» являются методы, основанные на гидрогенизационных процессах. Гидроочистка является основной стадией таких технологий как IFP, UOP и Snamprogetti. Они характеризуются большой экологической чистотой технологических процессов в отличие от сернокислотной и адсорбционной очисток. Но методы, основанные на гидрогенизации, рациональней использовать на конечном этапе очистки ОСМ. Как правило, ее используют после стадии очистки в тонкопленочных испарителях.

Не менее эффективным способом удаления канцерогенных соединений из ОСМ помимо гидроочистки жесткого режима считают глубокую селективную (экстракционную) очистку. Следовательно, рациональней было бы использовать именно ее на начальных стадиях очистки. При сохранении сегодняшней ситуации с токсичностью ОСМ можно ожидать, что в

ближайшем будущем стадия обезвреживания сырья станет необходимым этапом всех промышленных процессов.

С этой точки зрения весьма эффективным представляется немецкий процесс на основе термического крекинга ENTRA. Благодаря высокой гибкости технологии появилась возможность решения широкого спектра ранее неразрешенных проблем: процесс позволяет перерабатывать как нефтяные, так и синтетические и растительные масла, а также ряд других продуктов с удалением из них всех основных экологически опасных компонентов.

Заключение. Проведен сравнительный анализ и указаны оптимальные технологии и методы зарубежных фирм по регенерации ОСМ с точки зрения воздействия на окружающую среду. Об экологической безопасности технологий и методов регенерации и утилизации ОСМ можно судить по основным критериям, к ним относятся: степень очистки конечного продукта; малоотходность технологии; возможность вторичного использования отходов; легкая утилизация образуемых отходов; токсичность образуемых отходов; использование экологически безопасных реагентов. Представлена экологическая характеристика основных методов. Наиболее распространенные группы промышленных процессов вторичной переработки следующие: сернокислотная, адсорбционная, гидроочистка, экстракционная (селективная), тонкопеночное испарение, ультрафильтрация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Евдокимов, А.Ю. Смазочные материалы и проблемы экологии / А.Ю. Евдокимов, И.Г. Фукс, Т.Н. Шабалина, Л.Н. Багдаров. -М.: ГУП Издательство «Нефть и газ», 2000. -424 с.
- 2 Сурин, С.А. Отработанные масла: вторая жизнь / С.А. Сурин // -Мир нефтепродуктов. -2000. -№2. -С. 22-24.
- 3 Фукс, И.Г. Экологические проблемы рационального использования смазочных материалов / И.Г. Фукс, А.Ю. Евдокимов, В.Л. Лашхи. -М.: Нефть и газ, 1993. -161 с.
- 4 Ксензенко, В.И. Общая химическая технология и основы промышленной экологии: Учебник для вузов / В.И. Ксензенко, И.М. Кувшинников, В.С. Скоробогатов и др. Под ред. В.И. Ксензенко. -М: КолосС, 2003. -328 с.
- 5 Бочаров, А.И. Производство смазочных масел / А.И. Бочаров // -Мир нефтепродуктов. -2002. -№4. -С.3-5.
- 6 Бенуа, Г.Ф. Использование отработанных масел за рубежом / Г.Ф. Бенуа, В.А. Сомов // -Двигателестроение. -1980. -№5. -С. 51-53.
- 7 Чуршуков, Е.С. Современные способы и средства регенерации отработанных масел: тематический обзор / Е.С. Чуршуков, В.П. Коваленко, В.Е. Турчанинов. -М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1987. -75 с.
- 8 Тарасов, В.В. Научные ответы на вызовы современности: техника и технологии: монография / В.В. Тарасов, Г.П. Кича и др. -Одесса: Купrienko СВ, 2016. -177 с.
- 9 Тарасов, В.В. Принципиальная схема установки по регенерации отработанного моторного масла в судовых условиях / В.В. Тарасов, П.В. Кулямов // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2015. -№2. -С. 175-179.
- 10 Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.08.2007 г. №570 «Об организации работы по паспортизации опасных отходов» // СПС «КонсультантПлюс»

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оценка экологической безопасности, технологии регенерации, отработанные смазочные материалы, регенерация масел, методы и установки регенерации масел

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Горелик Геннадий Бенционович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «ТОГУ»
Викулов Станислав Викторович, докт. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Кончаков Евгений Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГАОУ ВО «ДВФУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 680035, г.Хабаровск, ул.Тихоокеанская, 136, ФГБОУ ВО «ТОГУ»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»
690950, г.Владивосток, ул.Суханова, 8, ФГАОУ ВО «ДВФУ»

ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ ЭНЕРГОБИОКОМПЛЕКСОВ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

С.И. Лещенко, В.А. Бобыльская, Д.Е. Киндер

THE GENERAL CONCEPT OF ENERGY-BIOLOGICAL COMPLEX

Siberian state university of water transport

S.I. Leshchenko, V.A. Bobylskaya, D.E. Kinder

This article is devoted to the use of waste low temperature thermal waters. For example, Barabinskaya TPP considers the possibility and prospects and economic efficiency of the organization of energy-biological complex in Kuybyshev.

Keywords: energy-biological complex, low-temperature thermal water, heat recovery production

Рассмотрена проблема использования отработанных низкотемпературных тепловых вод. На примере Барабинской ГРЭС рассматривается возможность, перспективы создания и экономическая эффективность организации энергобиоконцентрации в городе Куйбышеве.

Электроэнергетика – отрасль промышленности, занимающаяся производством электроэнергии на электростанциях и передачей ее потребителям. Являясь основой развития про-

изводственных сил в любом государстве, энергетика вторглась во все сферы деятельности человека – промышленность и сельское хозяйство, науку и космос – и в настоящее время без электрической энергии наша жизнь немыслима.

Современный электроэнергетический комплекс России включает почти 600 электростанций единичной мощностью свыше 5 МВт, из которых 68% являются тепловыми (электроэнергия вырабатывается при сжигании твердого топлива – углей, сланцев, торфа).

Современные электростанции преобразуют в полезную электрическую энергию лишь 30-40% теплоты топлива, а остальные 60-70% расходуются на нагрев рабочего оборудования, для охлаждения которого (во избежание его перегрева) требуется большой объем воды – 0,12-0,16 м³ воды для выработки 1 кВт·ч электроэнергии [1]. Образовавшиеся низкотемпературные тепловые воды (температура около 30-35 °С) сбрасываются в естественный водоем или используются повторно после охлаждения в специальных сооружениях – то есть в настоящее время образующиеся в процессе выработки электроэнергии тепловые воды рассматриваются как отходы производства, воды с тепловым загрязнением, которые для повторного использования требуется охлаждать. При этом 2/3 энергии сжигаемого на тепловых электростанциях топлива уносится с подогретой сбросной водой и рассеивается в окружающей среде. Помимо этого, строительство, эксплуатация и ремонт специальных охлаждающих систем требует дополнительных капиталовложений.

Но отработанные тепловые воды имеют только повышенную температуру, а по химическому составу остаются чистыми, поэтому более целесообразно рассматривать их как полезный ресурс и использовать для получения дополнительной товарной продукции.

Образующиеся при работе ТЭЦ охлаждающие воды обладают небольшим температурным потенциалом, что осложняет их использование без применения специальных технологий и является основным препятствием для их использования.

Проблема использования отработанных низкотемпературных тепловых вод является актуальной. Наиболее активно данная тема обсуждалась в 70-80 годы прошлого века. Предлагалось их использование для нужд рыбного хозяйства (закрытые тепловодные рыбохозяйственные комплексы), сельского хозяйства (тепличное хозяйство, отопительное орошение культур на открытом грунте, обогрев почв), коммунального хозяйства (снегоплавильные установки) и т.д. [2, 3]. Разрабатывались различные виды технологического оборудования и технологии использования тепловых вод. Подавляющее большинство всех разработок не получило практического воплощения (за исключением тепловодных рыбохозяйственных комплексов). При этом отличительной особенностью всех предлагавшихся мероприятий является проектирование отдельных теплоутилизирующих производств в отрыве от самой станции.

На наш взгляд такой подход не является оптимальным. Наиболее целесообразно и эффективно использовать потенциал отработанных тепловых вод комплексно, посредством создания на основе электростанций (как проектируемых, так и действующих) энергобиокомплексов (ЭБК).

В интернет-источниках, исследовательских работах и публикациях (за последние 5 лет) найдено всего одно упоминание энергобиокомплексов [4]. По интересующей нас тематике не найдена никакая-либо консолидированная информация, терминология, понятийный аппарат. В рассмотренной литературе, а также в интернет-источниках не сформулировано также и определение термина «энергобиокомплекс».

Нами в данной работе под энергобиокомплексом понимается искусственная, изолированная от естественных водоемов система, объединяющая тепловую станцию и технологически связанные с ней производства, утилизирующие образующиеся при ее эксплуатации низкотемпературные тепловые воды. Такая система позволяет полностью утилизировать тепловые воды с получением дополнительной пищевой продукции, не нарушая экологию окружающей территории. Особенностью энергокомплекса является взаимосвязь всех компонентов и их включенность в систему водоснабжения тепловой электростанции.

В состав ЭБК входят три группы предприятий [4]:

– предприятие, в процессе эксплуатации которого образуются низкотемпературные тепловые воды (ТЭЦ, ГРЭС, АЭС и т.д.);

– предприятия, утилизирующие тепло. Наиболее перспективными направлениями использования тепловых вод являются: тепловодные рыбохозяйственные предприятия (нагульные, прудовые, садковые, бассейновые и др.); раковые хозяйства; сельскохозяйствен-

ные предприятия (тепличное хозяйство, отоплительное орошение культур на открытом грунте, обогрев почв и др.);

– микробиологические предприятия по утилизации рыбных и сельскохозяйственных отходов с получением корма для рыб.

Общая структура ЭБК приведена на рисунке.

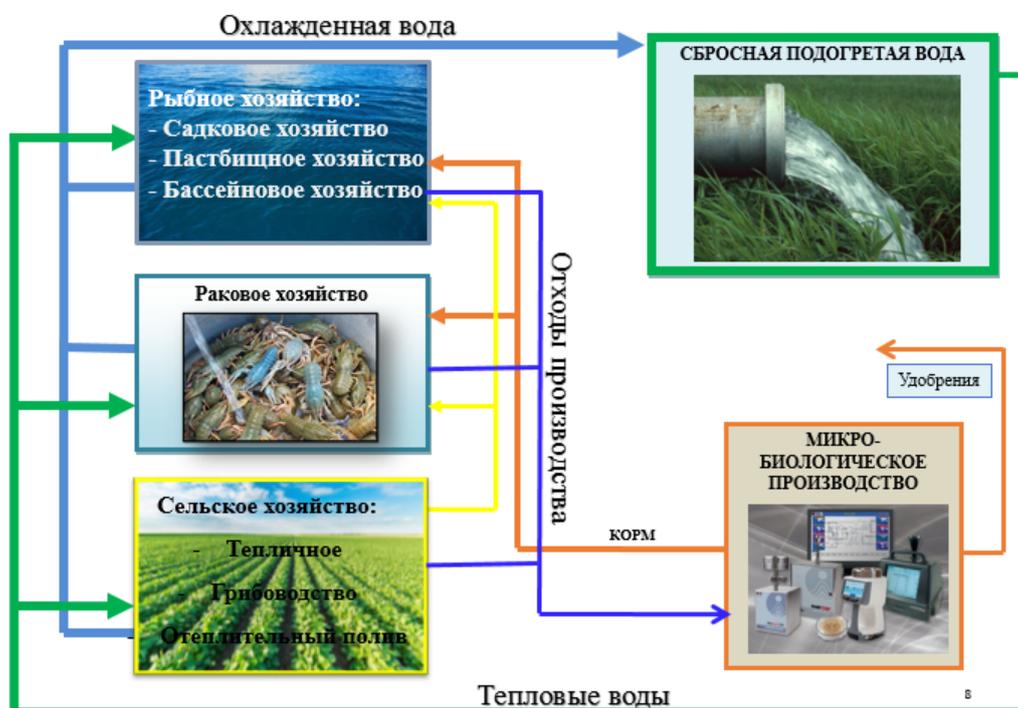


Рисунок – Общая структура энергобиокомплекса

В структуру ЭБК включаются только производства, технологически связанные с использованием тепловых вод. Предприятия по переработке полученной сельскохозяйственной продукции при этом могут находиться на значительном удалении и в состав комплекса не входят.

Схема каждого ЭБК будет уникальной, и зависеть от конкретных условий в районе размещения энергетического предприятия. На состав предприятий, входящих в структуру ЭБК влияет целый ряд факторов, основными из которых являются географическое положение головного предприятия (электростанции), ее мощность и особенности системы охлаждения.

Географическое положение. При использовании тепловых вод ТЭЦ и ГРЭС для производства необходимо учитывать тот факт, что они являются низкотемпературными (прогреты до температуры около 30-35 °С). При транспортировании на большие расстояния (особенно в условиях низких температур атмосферного воздуха в зимний период) они теряют свое тепло, и их использование становится нецелесообразным, поэтому теплоутилизирующие предприятия должны находиться достаточно близко к месту сброса тепловых вод.

Большая часть крупных электростанций построена еще в советский период. Часть из них в процессе роста городов оказались в пределах плотной жилой или промышленной застройки. В этих условиях при проектировании любого нового производственного объекта остро встает вопрос нехватки площадей, что может накладывать ограничения на размеры предприятий, конструктивные особенности зданий и помещений или производственный цикл.

Мощность электростанции. При эксплуатации ТЭЦ для охлаждения оборудования требуется большой объем воды (0,12-0,16 м³ воды для выработки 1 кВт·ч электроэнергии). То есть объем тепловых вод напрямую зависит от мощности электростанции. Например, при нормальной работе Новосибирской ТЭЦ-5 (мощность 1200 МВт) расход охлаждающей воды составляет около 40 м³/с.

Таким образом, мощность тепловой электрической станции предварительно определяет имеющиеся в наличии ресурсы тепловых вод.

Система охлаждения. Тепловые воды представляют собой сбросные (отработанные),

нагретые воды ТЭЦ. Схема технического водоснабжения обеспечивает подачу большого количества холодной воды для охлаждения агрегатов. На тепловых электростанциях применяются два вида систем водоснабжения: прямоточная и оборотная [5].

При прямоточной системе вода, забираемая из реки, после конденсаторов и других охлаждающих устройств, сбрасывается в реку ниже по течению.

В оборотных системах вода циркулирует под воздействием циркуляционных насосов и охлаждается воздухом, охлаждение может производиться на поверхности водохранилищ охладителей или в искусственных сооружениях: брызгальных бассейнах или градирнях.

Пруды-охладители – это водоемы, обеспечивающие нужды ГРЭС. В качестве охлаждающих прудов используются как естественные, так и искусственные водоемы. В первом случае вода охлаждается в естественном пруде или озере, а иногда и в системе озер, соединенных между собой. Во втором случае для охлаждения служит специально сооруженный искусственный бассейн или пруд.

Брызгальные бассейны, как и охлаждающие пруды, представляют собой естественные или искусственные открытые водоемы, но вода подается в них не непосредственно, а через систему разбрызгивающих сопел, расположенных над поверхностью воды в бассейне.

Градирни (охладительные башни) – специальные сооружения или устройства для охлаждения больших объемов горячей воды. Обычно градирни используются в местах, где нет возможности сброса охлаждаемой воды в естественные источники или сделать искусственный пруд-охладитель. Горячая вода поступает в градирню, где в зависимости от типа и конструкции градирни происходит ее охлаждение до необходимой температуры.

От состава сооружений, используемых для охлаждения тепловых вод, напрямую зависит тип и особенности технологического цикла производств, входящих в структуру ЭБК и, прежде всего, тип рыбоводного хозяйства. Так при применении для охлаждения отработанных тепловых вод градирен и брызгальных бассейнов возможно устройство бассейновых хозяйств, а при применении прудов-охладителей – можно создание садкового хозяйства или организация нагула в них товарной рыбы.

Перераспределение отработанных тепловых низкотемпературных вод между отдельными производственными предприятиями, а также их мощность должны определяться теплотехническими расчетами.

Организация ЭБК на основе действующих ТЭЦ позволит достичь положительного эффекта, как в экономической, так и в социальной сфере. Прежде всего, это:

- в экономической сфере: развитие новых отраслей хозяйства; повышение инвестиционной привлекательности региона; обеспечение населения продуктами питания местного производства;

- в социальной сфере: создание новых рабочих мест; уменьшение уровня безработицы.

В условиях глобального теплового загрязнения окружающей среды необходимо изменить отношение к низкотемпературным отработанным тепловым водам и рассматривать их не как отходы производства (воды с тепловым загрязнением), а как полезный ресурс. При использовании тепловых вод ключевую роль будут играть искусственные изолированные биологические системы – энергобиокомплексы.

На основе анализа технологических особенностей Новосибирских ТЭЦ и реальной обстановки в районе их размещения сделаны следующие выводы:

- на любой действующей тепловой электростанции имеются в наличии условия, благоприятные для создания ЭБК. Прежде всего, это наличие неиспользуемого ресурса тепловых вод, развитая инфраструктура, наличие трудовых ресурсов, близость потребителя и т.д.;

- структура ЭБК не является постоянной, а должна разрабатываться для каждой тепловой электростанции индивидуально, с учетом реально сложившихся условий;

- в состав ЭБК входят три группы предприятий: производства, в процессе эксплуатации которых образуются низкотемпературные тепловые воды; предприятия, утилизирующие тепло; микробиологические предприятия по утилизации рыбных и сельскохозяйственных отходов с получением корма для рыб;

- наиболее перспективными направлениями использования тепловых вод являются сельскохозяйственные и тепловодные рыбохозяйственные предприятия;

- на состав предприятий, входящих в структуру ЭБК влияет целый ряд факторов, основными из которых являются географическое положение головного предприятия (электростанции), ее мощность и особенности системы охлаждения;

- организация ЭБК на основе действующей ТЭЦ позволит достичь положительного эф-

фекта, как в экономической, так и в социальной сфере.

Несмотря на актуальность проблемы утилизации отработанных низкотемпературных тепловых вод нет не только реально функционирующих ЭБК, но и отсутствует какая-либо консолидированная информация, терминология и понятийный аппарат по данной тематике. При этом наиболее актуальными (с теоретической и практической точки зрения) проблемами, на наш взгляд, являются:

- разработка нормативно-правовой основы взаимодействия тепловых электростанций (собственник полезного ресурса) и теплоутилизирующих предприятий;
- разработка расчетных схем для теплотехнических расчетов ЭБК;
- разработка критериев оценки эффективности теплоутилизирующих производств (например, затраты тепловых вод для получения единицы товарной продукции) и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Зимницкая, Т.В. Перспективы использования отработанных вод тепловых электростанций для тепловодного рыбного хозяйства / Т.В. Зимницкая, В.А. Бобыльская, С.И. Лещенко // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2014. -№1-2. -С. 357-359.
- 2 Доклад объединенной научной сессии по проблемам использования теплых вод ТЭС и АЭС в народном хозяйстве. -М., 1975. -С. 1-17.
- 3 Григорьев, С.С. Индустриальное рыбоводство. В 2 ч. Ч.2. Интенсивное разведение рыбы в индустриальных условиях: учеб. пособие / С.С. Григорьев, Н.А. Седова. -Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2008. -162 с.
- 4 Моисеев, Н.Н. Рыбохозяйственная гидротехника с основами мелиорации: учебное пособие / Н.Н. Моисеев, П.В. Белоусов; -Новосибирск: Новосиб. гос. аграр. унив., 2010. -192 с.
- 5 Энергетика. ТЭС и АЭС. Все о тепловой и атомной энергетике. -Режим доступа: <http://tesiaes.ru>.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *энергобиокомплекс, низкотемпературные тепловые воды, теплоутилизирующие производства*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Лещенко Сергей Иванович, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ» Бобыльская Виктория Александровна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ» Киндер Диана Евгеньевна, студент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

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

ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ РЕЧНОГО АЛЛЮВИЯ В РУСЛЕ РЕКИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

В.А. Седых, М.А. Бучельников

ISSUES OF ENVIRONMENTAL SAFETY WHEN MOVING RIVER ALLUVIUM IN THE RIVER

Siberian state university of water transport

V.A. Sedykh, M.A. Buchelnikov

The article discusses the problem of reducing the negative impact of technogenic moving river alluvium in the river channel and beyond. Determined that the soil obtained when dredging not be equated with minerals. Hydrological conditions are formulated the feasibility and safety of excavation technology of soil from the river bed, as well as combining dredging and mining.

Keywords: river alluvium, ecological impacts, dredging, Ob river

Обсуждается проблема снижения негативных последствий от техногенного перемещения речного аллювия в русле реки и за его пределами. Определено, что грунт, извлекаемый при дноуглублении, нецелесообразно приравнивать к полезным ископаемым. Сформулированы гидроэкологические условия целесообразности и безопасности выемки технологического грунта из русла реки, а также совмещения дноуглубительных и добычных работ.

Современная судоходная трасса требует постоянного проведения транзитных дноуглубительных и русловыправительных работ в значительных объемах. Кроме того, речное русло и пойма традиционно служат местом добычи нерудных строительных материалов (НСМ) крайне необходимых для гидротехнического, дорожного, промышленного, жилищного и иного строительства. Ведение дноуглубительных работ и добычу НСМ можно признать очень сходными в технологическом плане работами; соответственно, их влияние на гидрологический режим и экосистемы реки, по сути, аналогичны.

Исследования, проведенные ранее [1, 2], показали, что искусственное перемещение грунта вполне сопоставимы по своим масштабам с естественным твердым стоком Верхней и Средней Оби. Так, при «сверхинтенсивном» землечерпании в 1980-е годы количество перемещаемого грунта было всего на треть меньше всех наносов на Верхней Оби, а на Средней

Оби – примерно на четверть превышало естественный твердый сток.

При проведении транзитных дноуглубительных работ, грунт, извлеченный из прорези (далее «технологический грунт» или «грунт»), как правило, укладывается обратно в русло реки. Такое гидроэкологическое требование размещения отвалов, на первый взгляд, представляется обоснованным. Натурные наблюдения показывают, что переуглубление русла при дноуглублении может привести к снижению отметок свободной поверхности потока на вышерасположенном плесе. Влияние разрабатываемой прорези на гидравлику потока во многом зависит от выбора места укладки отвала технологического грунта. Наибольшие изменения на перекате наблюдаются в тех случаях, когда при разработке прорези наблюдается рефулирование технологического грунта на берег или грунт из прорези вывозится шаландами за пределы участка. Если судоходная прорезь разрабатывается землесосным снарядом и отвал грунта остается в русле реки, то влияние прорези на уровень воды ослабляется [3]. Однако, закономерность «удаление грунта» - «большее воздействие на поток» не абсолютна.

Если извлеченный грунт перемещается в сторону от судового хода и конечный результат зависит от того, какая часть отвала обсохнет к моменту наступления низких меженных уровней воды. В период стояния высоких уровней воды эффект влияния дноуглубительных прорезей на гидравлику потока на перекатах будет минимальным. Также можно часть технологического грунта уложить в виде русловыправительного сооружения, в случае многорукавности – перераспределить расходы воды и т.д.

Так, на перекатах перевального типа, предпочтительной схемой расположения прорезей является их трассирование по корыту переката с укладкой отвала на верхнем побочне в виде продольного сооружения. Если это затруднительно, то можно допустить расположение отвалов в виде выправительных сооружений на верхнем или нижнем побочне или открытом воздействию волнобоя подводных частях тех же побочней. Грунт из отвалов на побочне можно удалять при условии разрывов в карьерах для создания выправительных сооружений.

На сложных перекатах, например, распространено трассирование судоходных прорезей для отторжения побочней. Изъятие этого грунта из реки, как правило, вызывает незначительный ущерб экологическому состоянию реки [3].

Иногда складываются такие ситуации, когда технологический грунт совсем нецелесообразно, и даже экологически вредно укладывать в воду. При большом загрязнении донного аллювия, наблюдающемся на реках, протекающих на урбанизированных территориях или в районе предприятий, сбрасывающих в реку неочищенные или недостаточно очищенные сточные воды, в тех местах, где ранее возникло загрязнение донного грунта нефтепродуктами, тяжелыми металлами и др., дноуглубительные работы осуществляются с транспортированием технологического грунта на берег, за пределы водоохранной зоны, во избежание вторичного химического загрязнения воды.

Возможно извлечение грунта при проведении внетранзитных дноуглубительных работ (углубление акваторий портов, затонов судостроительных и судоремонтных предприятий с обеспечением подходов к ним, разработка или расчистка водоприемных ковшей и водотоков к водозаборам, создание подходов к русловым карьерам и т.п.), в тех условиях, когда небольшие размеры акватории просто не позволяют сформировать отвал или же сам отвал может нанести ущерб гидробионтам, обитающим на мелководье.

Имеется и юридическая сторона вопроса извлечения технологического грунта из русла реки при проведении дноуглубительных работ на судовом ходу. Разработка перекатных участков (транзитное и внетранзитное дноуглубление) выполняемая Администрациями бассейнов для поддержания гарантированных габаритов судовых ходов ни в коем случае не относится к добыче НСМ, а речные наносы не могут, по нашему мнению, быть признаны недрами. Согласно Закону РФ «О недрах»: «Недра являются частью земной коры, расположенной ниже почвенного слоя, а при его отсутствии - ниже земной поверхности и дна водоемов и водотоков, простирающейся до глубин, доступных для геологического изучения и освоения». Очевидно, что недра – есть природное образование, никак не могущее возникать в пределах объектов техносферы, к которым можно отнести судовую ход. Аналогией может служить плотно дороги, засыпанное грунтом в результате оползня, селя и т.д. Конечно же, расчистка дороги в таком случае никак не может быть отнесена к пользованию недрами.

Научно-методическое обоснование может быть выполнено следующими путями:

– дном (в пределах судового хода) можно считать условную поверхность, определяе-

мую вычитанием значения гарантированной глубины от отметок проектного уровня. Весь аллювий, оказавшийся в этом пространстве, можно считать технологическим грунтом; точно определить его объем на каждом участке не представляется сложным;

– отличием речных наносов от месторождений НСМ может служить время нахождения аллювия на одном месте. В случае месторождений срок исчисляется сотнями лет, на перекатном участке наносы образуются за считанные годы или даже месяцы. Обосновать скорость намыва для каждого переката можно или путем подсчета баланса наносов или, что еще проще, определением объема грунта на перекате в меженьный период текущего и предыдущего годов.

Комплексность подхода в оценке антропогенного влияния на природу добычи НСМ в руслах рек подсказывает, что целесообразно продолжить изучение такого варианта сокращения негативных последствий, как совмещение добычи с производством дноуглубительных работ для поддержания судоходных глубин.

Совмещение добычи НСМ и дноуглубления, где это возможно, необходимо еще и потому, что во многих случаях резервы организации карьеров исчерпываются. Особенно это ощущается на участках рек Сибири вблизи крупных речных портов (Новосибирск, Томск, Омск и других), на которых выбран грунт для поставки НСМ почти во всех допустимых местах. Найти возможные участки для создания новых карьеров в какой-то мере есть надежда при осуществлении совмещения добычи НСМ и дноуглубления.

Совмещение добычи НСМ с производством дноуглубительных работ для поддержания судоходных глубин, несмотря на всю очевидную важность и целесообразность решения проблемы используется на внутренних водных путях лишь ограничено.

В общем случае можно назвать четыре условия, при соблюдении которых, совмещение разработки судоходных прорезей с добычей НСМ возможно:

1 Если извлечение грунта из русла реки не вызовет негативных русловых процессов и роста объемов землечерпательных работ и выправительных работ для поддержания судоходных глубин;

2 В случае отсутствия опасности возникновения негативных экологических последствий, например, из-за посадки уровней воды, местных увеличений концентрации взвешенных наносов, ущерба нерестилищам и местам нагула рыбы и т.д.;

3 Грунт в прорези соответствует ГОСТам на НСМ или соблюдается экономическая целесообразность его классификации и очистки с целью доведения до требований ГОСТов;

4 При недопущении создания очагов опасности для жизни населения (таких, как ямы), пляжей и других рекреационных зон.

На основании проанализированного опыта можно прийти к следующим обобщениям.

Прежде всего, подтверждается, что совмещение транзитного или внутранзитного дноуглубления перспективно и может дать существенный экономический и экологический эффект.

Для каждого участка реки необходимо составлять генеральную схему извлечения (перемещения) речного аллювия. Составление таких схем, подкрепленных гидрологическими и гидроэкологическими расчетами, значительно уменьшит экологический ущерб от добычи НСМ в русле рек.

При экологическом подходе карьеры добычи НСМ можно разместить так, что после выработки они станут донными емкостями-накопителями, перехватывающими, прежде всего, влекомые наносы и создающие условия выпадения на дно части взвешенных наносов.

При совмещении добычи НСМ с дноуглублением повышается степень полноты выработки карьеров и прежде всего по площади.

Техногенное перемещение речного аллювия представляется экологически значимым фактором, требующим качественных и количественных научно обоснованных всесторонних оценок влияния на гидрологию реки, на состояние речных экосистем в краткосрочной и долгосрочной перспективе.

Извлечение из русла реки технологического грунта при проведении транзитных дноуглубительных работ вполне возможно. Современные гидрологические расчеты позволяют оценить риск посадок уровней и дать рекомендации по минимизированию или полному устранению последствий. Технологический грунт из прорезей не следует приравнять к недрам, а, следовательно – нецелесообразно распространять на него действующее законодательство о недропользовании.

Исследования должны быть продолжены по следующим направлениям:

– Развитие методов качественного и количественного анализа, математического моделирования сложных гидрологических и гидробиологических процессов, методов прогноза экологической ситуации, создание новых программных продуктов в этой области.

– Формулирование гидроэкологических условий целесообразности и безопасности выемки технологического грунта из русла реки, а также совмещения дноуглубительных и добычных работ.

– Анализ рациональности использования в условиях реки Оби разработок последних лет проектно-конструкторских и научно-исследовательских организаций по усовершенствованию земснарядов для повышения их производительности и экологической безопасности.

В перспективе исследования могут завершиться разработкой отраслевых или бассейновых нормативных документов дополняющих ныне действующий «Регламент проведения согласований на водных путях».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бучельников, М.А. Транзитные дноуглубительные работы в русле реки Оби как один из основных гидроэкологических факторов / М.А. Бучельников // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2015. -№2. -С. 221-224.

2 Бучельников, М.А. Экологическая оценка планируемых дноуглубительных работ на Колпашевском перекате р. Оби / М.А. Бучельников // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2015. -№1. -С. 230-233.

3 Седых, В.А. Обоснование объемов дноуглубительных работ на реке Обь / В.А. Седых, В.М. Ботвинков, М.А. Бучельников и др. // -Научн. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2014. -№1-2. -С. 124-126.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: речной аллювий, экологическое воздействие, дноуглубление, река Обь

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Седых Виталий Алексеевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Бучельников Михаил Александрович, канд. биол. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»

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

ОЦЕНКА РЕЧНОГО СТОКА РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ С ВОДОСБОРА МАЛЫХ РЕК г.НОВОСИБИРСКА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Е.В. Рощина, С.Я. Тарасенко

ASSESSMENT OF RIVER DISCHARGE OF DISSOLVED SUBSTANCES FROM THE CATCHMENT AREA OF SMALL RIVERS IN NOVOSIBIRSK

Siberian state university of water transport

E.V. Roshtina, S.Ya. Tarasenko

Calculations of the runoff of pollutants from the catchment area of small rivers of Novosibirsk for a long-term period are given. Comparison of the results of the calculation of pollutant runoff showed that the main contribution to the pollution of the river. Ob rivers, which are small rivers, are suspended substances, oil products, heavy metals, ammonium nitrogen.

Keywords: heavy metals, small rivers, effluent, oil products

Приведены расчеты стока загрязняющих веществ с водосбора малых рек г. Новосибирска за многолетний период. Сравнение результатов расчета стока загрязняющих веществ показало, что основной вклад в загрязнение р. Оби малыми реками приходится на взвешенные вещества, нефтепродукты, тяжелые металлы, азот аммонийный.

Сток растворенных веществ – это процесс переноса в речных системах растворенных веществ и характеристика их количества.

Сток в зависимости от типа растворенных веществ делится на сток взвешенных веществ, сток главных ионов – ионный сток, сток биогенных элементов, сток органических веществ, сток загрязняющих веществ.

Сток взвешенных веществ необходим при оценке мутности и прозрачности природных вод. Ионный сток характеризует основную массу (90-95%) выносимых химических веществ с водосборов, являясь главным звеном в круговороте химических веществ. Сток биогенных элементов необходим для оценки эвтрофикации природных водоемов. Эвтрофикация происходит за счет увеличения в водоеме содержания азота и фосфора, которые вызывают размножение водорослей в поверхностных водах («цветение» водоема). Сток органических веществ необходим для составления баланса и круговорота органических веществ. Наиболее важные показатели воды, связанные с загрязнением органическими веществами являются биологическое потребление кислорода БПК₅ и химическое потребление кислорода (ХПК), так как они дают информацию о необходимом потреблении кислорода на утилизацию

загрязняющих веществ в водной среде. Сток загрязняющих веществ необходим для оценки уровня загрязнения природных водоемов органическими экотоксикантами – нефтепродуктами, фенолами, СПАВами, солями тяжелых металлов.

В целом данные о стоке необходимы для оценки загрязнения природных вод, прогноза их качества, осуществления водоохранных мероприятий.

Цель работы – оценка стока загрязняющих веществ с водосбора малых рек г. Новосибирска за 2013-2014 гг.

Сток загрязняющих веществ оценивали по результатам режимных гидрохимических наблюдений за период 2013-2014 гг.

Сток рассчитывали прямым методом

$$R = \sum_{i=1}^n Q_i C_i, \text{ т} \quad (1)$$

где Q_i – средний расход воды;

C_i – средняя концентрация ингредиента за расчетный период.

К основным характеристикам стока относится модуль стока и норма стока. Модуль стока – количество воды, стекающее в единицу времени с 1 км²

$$M = \frac{Q}{F}, \text{ л/(с·км}^2\text{)} \quad (2)$$

где Q – расход воды, л/с;

F – площадь водосбора, км².

Чтобы сравнить сток растворенных веществ разных рек рассчитывают норму стока

$$P = \frac{R}{F}, \text{ т/км}^2 \quad (3)$$

где R – сток с водосбора, т;

F – площадь водосбора, км².

В черте г. Новосибирска протекает восемь малых рек: правобережные – Иня (нижняя), Ельцовка-1, Ельцовка-2, Нижняя Ельцовка, Каменка, Плющиха, Камышенка, левобережная – р. Тула. Малые реки относятся к рыбохозяйственным водоемам второй категории.

В таблице 1 приведены основные характеристики малых рек в черте г. Новосибирска

Таблица 1 – Основные гидроморфологические показатели малых рек г. Новосибирска

Реки	Длина реки/длина реки в черте города, км	Глубина вод (мах/ср), м	Средняя скорость реки, м/с	Среднегодовой расход (средний/половодье), м ³ /ч
Иня (нижняя)	663/11	3,0/2,0	0,4	6148/9836
Тула	92/11	2,2/0,2	0,1-2,8	7721/13368
Ельцовка-1	9,0/8,6	0,8/0,1	0,4-0,5	3483/4839
Ельцовка-2	14/13,8	1,2/0,1	0,10-0,15	3578/5863
Каменка	25/24	1,5/0,15	н/д	5122/8147
Нижняя Ельцовка	-/14,5	0,6/0,4	0,3-0,5	583/995
Плющиха	13,9/12	0,6/0,15	0,2-0,3	1514/2486

Для расчета стока загрязняющих веществ использовали данные натуральных замеров воды малых рек, полученные в лаборатории гидрологии Западно-Сибирского центра мониторинга загрязнений окружающей среды. Усредненные данные по качеству воды малых рек за 2013-2014 гг. были получены в комплексной лаборатории мониторинга окружающей среды ФГБУ «Западно-Сибирского УГМС».

В связи с отсутствием данных по фоновым концентрациям загрязняющих веществ за их фон приняты предельно допустимые концентрации для рыбохозяйственных водоемов.

В таблице 2 приведены расчеты стока загрязняющих веществ с водосбора малых рек г.Новосибирска за 2013-2014 гг.

Как видно из таблицы 2, за период исследований во всех малых реках содержание нитратов, СПАВ, трудноокисляемых органических веществ не превышало фона. Кроме того, в реках Ельцовка-2, Нижняя Ельцовка содержание легкоокисляемых органических веществ по БПК₅ не превышало фона, в реке Нижняя Ельцовка содержание азота аммонийного, нитритного и солей цинка не превышало фонового значения.

Следует отметить, что во всех реках наблюдалось высокое содержание взвешенных веществ, солей тяжелых металлов – марганца, железа, меди, цинка, азота аммонийного. Из

органических экотоксикантов наибольшее загрязнение приходится на нефтепродукты.

На рисунке 1 приведены значения суммарного стока для малых рек г. Новосибирска за 2013-2014 гг. в сравнении со стоком за 1993-1994 гг. [1, 2]

Таблица 2 – Сток загрязняющих веществ с водосбора малых рек г. Новосибирска за 2013-2014 гг. (по данным государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2013 и 2014 году)»

Загрязняющие вещества	Ельцовка-1		Ельцовка-2		Н. Ельцовка		Каменка		Тула	
	С, мг/л	Р, т	С, мг/л	Р, т	С, мг/л	Р, т	С, мг/л	Р, т	С, мг/л	Р, т
Взвешенные вещества	68	1778	56,31	1755,5	52,9	270,16	40,8	1848	15,55	676,3
БПК ₅	3,32	9,9	3,0	–	2,13	–	3,62	29,4	2,75	–
Азот аммонийный	0,956	16,97	0,42	3,52	0,25	–	2,35	105,4	1,301	60,87
Азот нитритный	0,071	1,55	0,026	0,82	0,015	–	0,074	2,42	0,039	2,63
Нефтепродукты	0,254	6,22	0,49	17,52	0,204	0,786	0,366	14,18	0,165	7,78
Фенолы	0,0025	0,045	0,002	0,063	0,002	0,040	0,003	0,089	0,0025	0,10
Фосфаты	0,062	1,28	0,042	1,32	0,035	0,766	0,096	3,410	0,0945	5,04
Медь	0,0039	0,088	0,003	0,094	0,003	0,153	0,003	0,089	0,0035	0,169
Цинк	0,018	0,25	0,007	0,22	0,010	–	0,0125	0,11	0,0175	0,51
Марганец	0,123	3,44	0,20	6,26	0,304	14,8	0,233	10,45	0,424	28,0
Железо	0,124	3,47	0,153	2,32	0,163	0,32	0,170	3,16	0,239	94,0

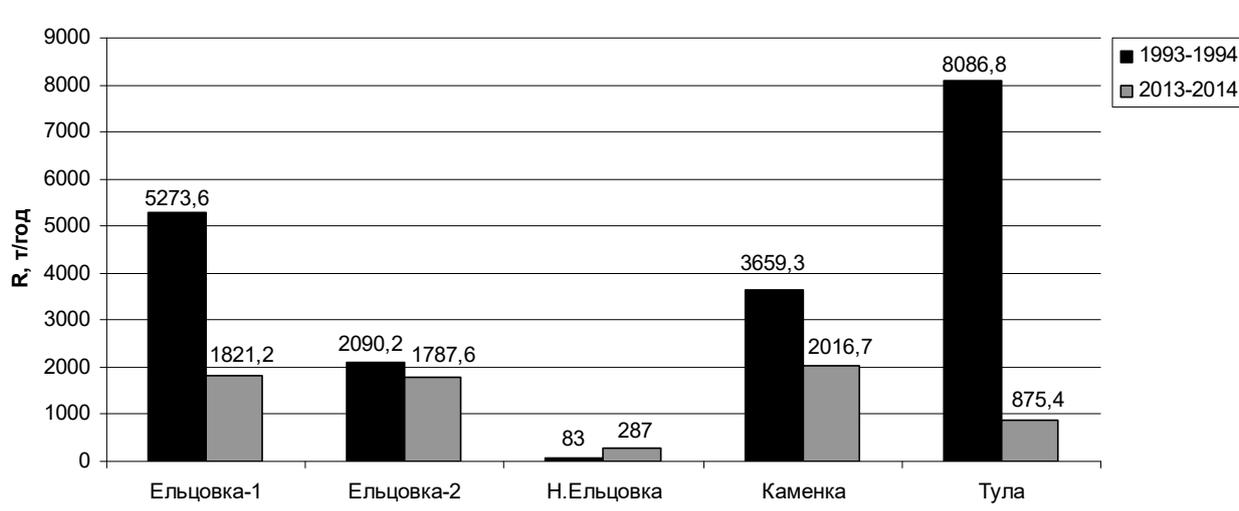


Рисунок 1 – Значение суммарного стока для малых рек г. Новосибирска за 2013-2014 гг. в сравнении со стоком за 1993-1994 гг.

Из данных рисунка видно, что наиболее значительно сток загрязняющих веществ уменьшился в реках Тула, Ельцовка-1, Ельцовка-2, Каменка. Сток загрязняющих веществ с водосбора р. Нижняя Ельцовка несколько увеличился.

На рисунке 2 приведены результаты расчета нормы стока с водосбора малых рек г. Новосибирска за 2013-2014 гг. [3].

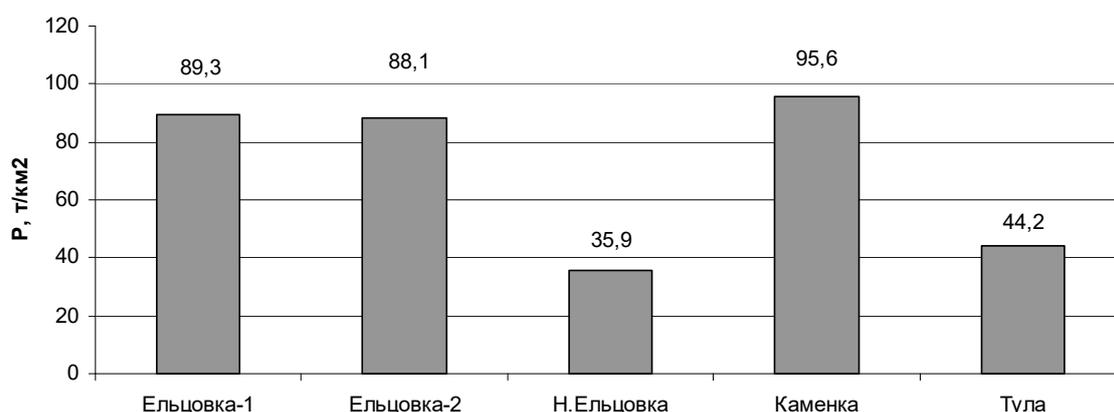


Рисунок 2 – Норма стока с водосбора малых рек г. Новосибирска за 2013-2014 гг.

Как видно из рисунка 2 норма стока с водосбора малых рек г. Новосибирска за 2013-2014 гг. колеблется от 35,9 до 95,6 т/км².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Состояние окружающей среды Новосибирской области в 1993 году / Ред. Петрика А.И. –Новосибирск: Новосиб. обл. комитет охр. окруж. среды и природных ресурсов, 1994.
 2 Состояние окружающей среды Новосибирской области в 1994 году / Ред. Петрика А.И. –Новосибирск: –Новосибирск: Новосиб. обл. комитет охр. окруж. среды и природных ресурсов, 1995.
 3 Рощина, Е.В. Гидроэкологические проблемы малых рек города Новосибирска: монография / Е.В. Рощина, М.Ю. Сидорова, С.Я. Тарасенко, В.В. Шамова. -Новосибирск: Сиб. гос. унив. водн. трансп., 2016. -182 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *тяжелые металлы, малые реки, сток, нефтепродукты*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Рощина Екатерина Валерьевна, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»*
Тарасенко Светлана Яковлевна, канд. хим. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОСБОРОВ МАЛЫХ РЕК г.НОВОСИБИРСКА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Д.В. Панов, О.В. Спиренкова

THE USE OF GIS TECHNOLOGY FOR THE STUDY OF CATCHMENT AREAS OF SMALL RIVERS OF NOVOSIBIRSK
 Siberian state university of water transport
 D.V. Panov, O.V. Spirenkova

The results of the spatial analysis of the small rivers catchment area around Novosibirsk are presented.

Keywords: GIS-technologies, digital elevation model, small rivers

Представлены результаты пространственного анализа водосборов малых рек г. Новосибирска.

Как известно, реки – основа жизни и деятельности людей. Любой населенный пункт – это источник загрязнений, особенно тот, где развит промышленный химико-технологический комплекс, который создает неблагоприятные условия, требующие постоянного контроля и мониторинга. Среди комплекса экологических проблем крупного города одной из важных является загрязнение водных объектов малых рек.

Город Новосибирск, достиг урбанистических размеров на Приобском плато в долинах рек Оби и Ини, включая малые реки: Ельцовка-1, Ельцовка-2, Каменка, Камышенка, Плющиха, Нижняя Ельцовка, Тула. Общая протяженность рек в городской черте составляет 100 км. К настоящему времени порядка 15 км рек заключено в трубы и водопропускные коллекторы. Для всех малых рек, в среднем и нижнем течении,

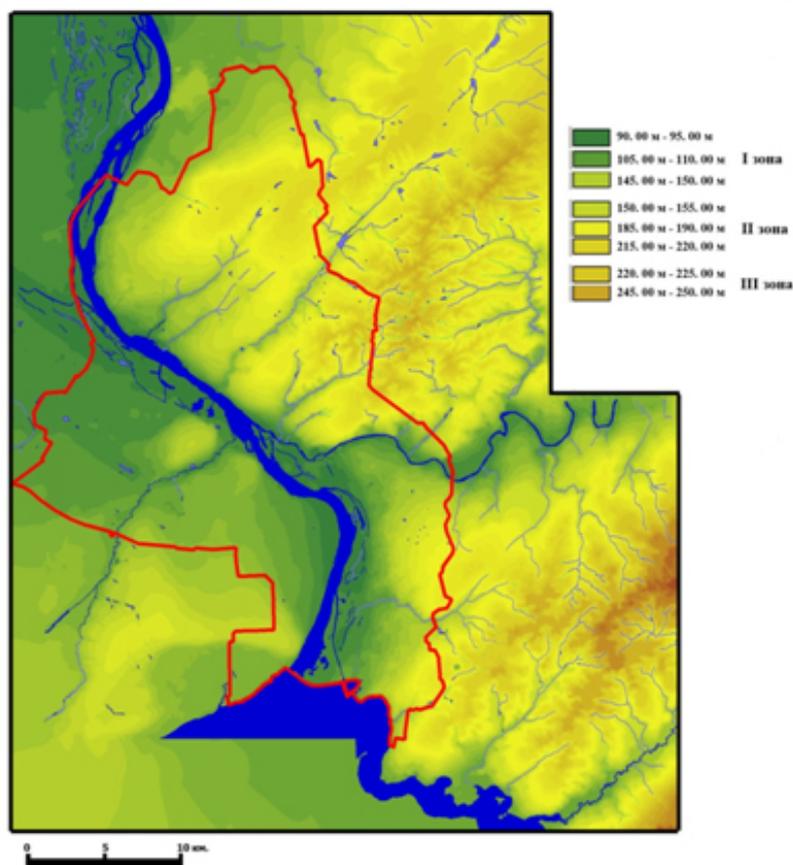


Рисунок 1 – Гипсометрическое отображение рельефа территории города и окрестностей

отмечается захламленность, многочисленные несанкционированные свалки по берегам, строительные работы вблизи рек, ведущиеся без учета гидрологических особенностей, что приводит к поднятию уровня малых рек, за счет паводковых вод либо обильных осадков, на 2-3 м. Поэтому экологическое состояние малых рек и их бассейнов в настоящее время вызывает озабоченность общественности и является предметом исследования [1].

Одним из важных шагов на пути решения проблемы совершенствования действующих и развития новых принципов и методов оценки состояния водных объектов является применение геонформационных технологий. Информационное обеспечение исследований малых рек должно включать в себя основные слои, такие как: гидрографическая сеть, транспортная сеть, растительность, элементы ландшафта, источники загрязнения, земли сельскохозяйственного, промышленного и иного назначения. Обязательным слоем являются места расположения точек отбора проб с указанием значения контролируемых ингредиентов, что позволяет проводить временной и пространственный анализ, оценивать качество водных объектов в разных контрольных створах. Это позволит создать единую базу характеристик малых рек для выработки рекомендаций по поддержке принятия управляющих решений с целью организации рационального природопользования.

Важным составляющим элементом геоинформационного обеспечения является цифровая модель рельефа (ЦМР), поскольку морфология рельефа в значительной степени определяет перемещение потоков вещества в природе. Следует отметить, что город делится Обью на западную (левобережную) и восточную (правую) части, резко различающиеся по рельефу, от равнинного в западной до перехода к горному рельефу Салаирского кряжа в восточной. На рисунке 1 представлено гипсометрическое отображение рельефа территории города и окрестностей.

Для анализа водосборов малых рек была создана ЦМР. Основные этапы технологии создания ЦМР представлены на рисунке 2. В качестве источника данных использовались листы топографической карты масштаба 1:25 000.

На основе ЦМР был проведен морфометрический анализ водосбора рек и рассчитаны следующие показатели: площадь и длина водосбора, средняя ширина водосбора, средний уклон водосбора, длина реки, коэффициент извилистости, уклон реки, объем стока, расход воды на меженный период, данные расчета приведены в таблице. Эти показатели применимы на различных этапах строительства и хозяйственной деятельности, влияющих на состав и свойства воды. В случае необходимости ЦМР позволяет получать промежуточные данные в любой точке водосбора или в поперечнике реки.

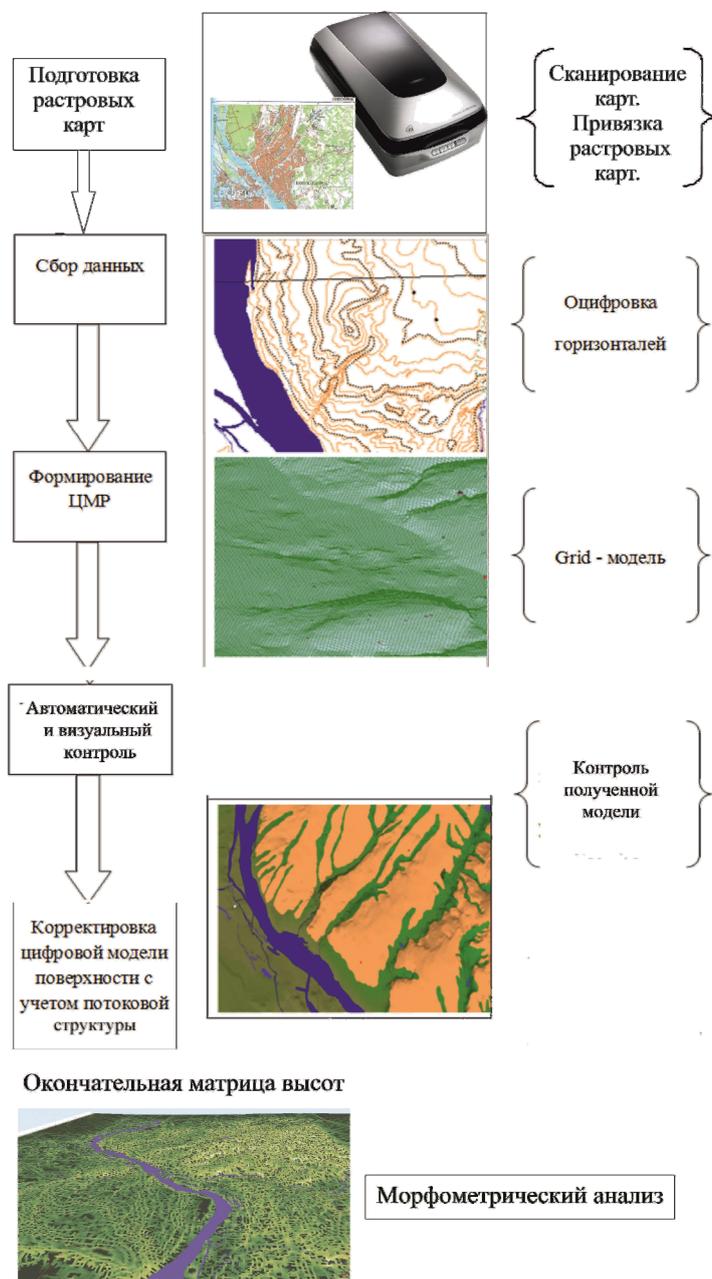


Рисунок 2 – Основные этапы технологии формирования и анализа ЦМР

Таблица – Расчет морфометрических характеристик

Название реки	Площадь сечения, м ²	Скорость течения, м/с	Высота истока, м	Высота устья, м
2-ая Ельцовка	1	0,4	190	92,8
1-ая Ельцовка	2	0,4	170	92,8
Каменка	2,4	0,5	225	92,9
Плющиха	1,5	0,6	200	93,0
Тула	1,5	0,3	–	–
ИздREVая	3,6	0,7	200	98,2
Ора	4,9	0,6	210	109,0
Иня (от г. Тогучин)	150	0,5	127	92,7

Уклоны рек и водосборов определены по ЦМР модели рельефа. Средний уклон водосбора оказывает большое влияние на скорость стекания дождевых и талых вод по склонам водосбора и поэтому влияет на максимальные расходы воды, продолжительность паводков и половодий, склоновую эрозию и сток наносов [2].

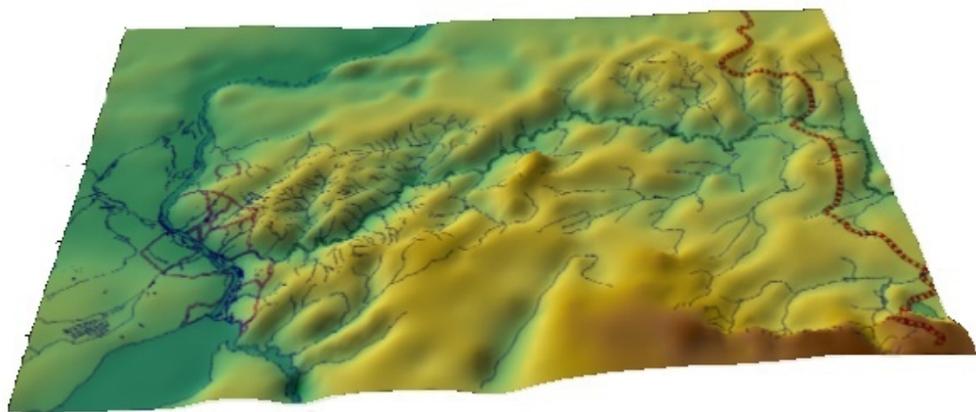


Рисунок 3 – Цифровая модель реки Иня

Следует отметить, что река Иня и ее притоки тоже оказывают существенное влияние на перенос загрязняющих веществ в реку Обь. Это хорошо прослеживается на основе анализа построенной цифровой модели рельефа водосбора реки Иня (рисунок 3).

По цифровой модели выделено две основных водосборных зоны. Первая состоящая из водосборов малых рек г. Новосибирска и участок реки Иня с водосбором реки Издревая. Ко второй зоне можно отнести водосборы притоков реки Иня, расположенных выше по течению реки Иня, за рекой Издревая. Формируемые на этой территории потоки вещества также в конечном итоге попадают в реку Обь, но более медленное, чем в первой зоне [3].

Таким образом, при анализе состояния малых рек важна детальность отображения рельефа, поэтому для построена ЦМР целесообразно использовать картографические источники масштаба 1:25000.

В результате созданное геоинформационное обеспечение должно послужить базой для составления экологических паспортов малых рек г. Новосибирска, стать систематизированным сводом сведений, качественно и количественно характеризующим экологическое состояние водных объектов, а также последующего обоснования необходимых природоохранных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Яцков, М.И. Обследование санитарного состояния малых рек города Новосибирска / М.И. Яцков.-Режим доступа: <http://kk.convdocs.org/docs/index-310964.html>. -31.05.2013.
- 2 Симанов, Ю.Т. Морфометрический анализ / Ю.Т. Симанов. -М.-Смоленск: Смоленск. гос. унив., 1998. -272 с.
- 3 Трубина, Л.К. Геоинформационный анализ форм рельефа для оценки земель г.Новосибирска / Л.К. Трубина, Б.В. Селезнев, Д.В. Панов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конф.: сб. материалов в 2 т. -Т. 2. -Новосибирск: Сиб. гос. геодез. акад., 2013. -С. 54-58.
- 4 Шамова, В.В. ГИС мониторинга водных объектов Сибирского региона и нормирования экологической нагрузки / В.В. Шамова, О.В. Спиренкова // Сибирский научный вестник XII: сб. научн. тр. Сиб. отдел. Рос. акад. естеств. наук. -Новосибирск: Изд. Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2009. -С. 249-252.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГИС-технологии, цифровая модель рельефа, малые реки
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Панов Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Спиренкова Ольга Владимировна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГИДРОТЕХНИКОВ-ПУТЕЙЦЕВ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ РАЗВИТИЯ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

В.М. Ботвинков, В.А. Седых, Н.В. Голышев

THE MAIN SCIENTIFIC DIRECTIONS OF HYDRO - RAILWAYMEN IN THE SOLUTION OF PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF INTERNAL WATERWAYS OF SIBERIA AND THE FAR EAST
Siberian state university of water transport
V.M. Botvinkov, V.A. Sedykh, N.V. Golyshev

Proposals on coordination of branch science and production are given as well as a list of the main scientific directions that contribute to the further development of waterways and ports.

Keywords: branch science, target programs, scientific research

Даны предложения по координации отраслевой науки и производства, а так же перечень основных научных направлений способствующих дальнейшему развитию водных путей и портов.

Проведенная 14 марта 2017 г. Министерством транспорта РФ и Федеральным агентством морского и речного транспорта видеоконференция по проблемам развития науки в подведомственных вузах показала, что сегодня нет четко сформулированной стратегии отраслевых научных исследований. Для их качественного улучшения следует опираться на богатый опыт предыдущих лет, что позволит сохранить преемственность и на современном уровне с учетом накопленного научного потенциала будет способствовать более тесному сотрудничеству с предприятиями речной и морской отрасли. В целом совещание было полезным и позволило, в какой-то мере оценить развитие отраслевой науки. На данном этапе было бы неплохо перейти к более детальной разработке комплексной программы развития наиболее приоритетных отраслевых научных направлений.

Не углубляясь на экономических вопросах, хотелось бы остановиться на проблеме развития водных путей и портов, которая сложилась из-за отсутствия четких параметров обновления флота, как пассажирского, так и грузового.

Для более детального и четкого понимания сложившихся условий хотелось бы возродить практику проведения научно-производственных координационных совещаний, которые позволят объединить науку и производство для конкретной формулировки проблем и путей их реализации. Это будет способствовать разработке новых нормативных документов учитывающих накопленный в отраслевых вузах научный потенциал.

С другой стороны, освоение Северного морского пути, которое уже началось, требует создания целевых программ развития внутренних водных путей Сибири и Дальнего Востока.

При этом важной задачей является инженерное обеспечение намеченных мероприятий, включая вопросы экологии.

Рассматривая под таким углом эту проблему, можно будет более обоснованно сформулировать требования к водным путям и флоту. Координация этих действий может осуществляться специально созданными научно-техническими комиссиями, которые должны оперативно решать все возникшие проблемы.

Именно для решения таких вопросов в нашем Университете создана и официально оформлена единая научно-исследовательская лаборатория «Безопасность жизнедеятельности на внутренних водных путях» куда входят ученые трех кафедр: Водных путей и ГТС, Водных изысканий и экологии и Информационных систем.

Эта структура уже показала свою научную эффективность, позволила объединить усилия старшего научного поколения с молодежью и тем самым сохранить научную преемственность.

Среди основных научных направлений сегодня можно выделить следующие:

- совершенствование приборов и методов водных изысканий, обработка полученных материалов и планирование безопасных судовых ходов;
- развитие и применение методов прогнозирования гидрологических и гидроморфологических условий безопасного судоходства;

- применение новых методов планирования очертания и места расположения судоходных прорезей (применение криволинейных прорезей);
- усовершенствование эффективных схем улучшения судоходных условий с учетом использования отвалов грунта;
- решение проблем совмещения нерудных строительных материалов с безопасностью судоходства;
- оценка положения и стабилизация проектного уровня воды;
- совершенствование методов проектирования судовых ходов на многорукавных участках рек;
- оценка влияния путевых работ на экологическое состояние рек и водоемов;
- совершенствование методов планирования путевых работ на основе местных условий;
- повышение устойчивости русел рек путем проведения берегоукрепительных работ на основе применения природных ресурсов (дернование, посадка кустарников, устройство грунтовых завес);
- совершенствование методов гидравлического обоснования заносимости речных затонов, причалов и рейда отстоя судов;
- оценка влияния внерусловых объектов (затоны, водозаборы, подводные и надводные переходы, несанкционированные устройства на прибрежной и береговой полосе);
- изучение ледовых явлений и разработка мероприятий по предотвращению и ликвидации заторов;
- прогнозирование и предотвращение нежелательных затоплений территории различного назначения.
- разработка методов проектирования безопасных судоходных трасс для новых транспортных средств (Экранолеты и Экранопланы).

Представленные направления имеют различную актуальность для отрасли, что соответствует поставленным задачам ВУЗам на прошедшей видеоконференции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: отраслевая наука, целевые программы, научные исследования
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Ботвинков Владимир Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Седых Виталий Алексеевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Голышев Николай Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПРИМЕНЕНИЕ БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ КАК ФОРМЫ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ОБУЧЕНИИ МАТЕМАТИКЕ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

О.И. Линевич

THE USE OF POINT-RATING SYSTEM OF EVALUATION AS A FORM OF PEDAGOGICAL CONTROL WHEN LEARNING MATHEMATICS IN TECHNICAL UNIVERSITIES

Siberian state university of water transport
O.I Linevich

Functions and types of pedagogical control. The technique of application of point-rating system of assessment when teaching mathematics in a technical university

Keywords: point-rating system of evaluation, pedagogical supervision, assessment

Рассмотрены функции и виды педагогического контроля. Приведена методика применения балльно-рейтинговой системы оценивания при обучении математике в техническом вузе.

Педагогический контроль играет важную роль в эффективной подготовке современного бакалавра или специалиста. Отсутствие контроля или его слабая организация ведут к существенному снижению качества обучения.

Всё это требует от педагога высшей школы поиска новых и совершенствования традиционных форм повышения качества педагогического контроля.

К основным принципам организации контроля в российской высшей школе относят [1]

профессиональную направленность, воспитывающий характер, систематичность и всесторонность контроля.

Педагогический контроль выполняет следующие, тесно взаимосвязанные между собой, основные функции [1]: диагностическую (выявление знаний, умений и навыков студентов), обучающую (активизация работы студента по усвоению учебного материала при проведении контроля) и воспитательную (развитие таких качеств как сила воли, самодисциплина, трудолюбие и т.п.).

По времени проведения выделяют предварительный, текущий, тематический, рубежный, итоговый и заключительный контроль. Предварительный контроль осуществляется в начале изучения темы или курса, он позволяет педагогу получить сведения об исходном уровне подготовки студентов. Результаты этого контроля помогут преподавателю адаптировать учебный материал к особенностям контингента. Текущий контроль осуществляется в ходе повседневной учебной работы, он позволяет педагогу управлять усвоением знаний и формированием умений и навыков. Тематический контроль оценивает результаты усвоения определенной темы или раздела программы. Рубежный контроль проводится один или два раза в семестр по итогам контрольных недель и заканчивается сдачей семестрового зачета или экзамена, он выполняет, прежде всего, диагностическую функцию. Итоговый контроль является итогом изучения пройденной дисциплины, он определяет соответствие результатов освоения дисциплины обучающимися требованиям основной профессиональной образовательной программы. Заключительный контроль осуществляется в ходе Государственной итоговой аттестации и определяет соответствие результатов освоения основной профессиональной образовательной программы требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Результаты проведенного педагогического контроля выражаются в виде оценки и отметки. Оценка – способ и результат, подтверждающий соответствие или несоответствие знаний, умений и навыков студента целям и задачам обучения. Отметка – численный аналог оценки.

Роль и важность оценки неоспоримы: именно оценка с одной стороны побуждает студента успешно заниматься, а с другой является причиной для применения к нему педагогических мер.

Сегодня время в мире используется множество шкал оценивания знаний. В некоторых шкалах принято использовать цифровые обозначения разрядов, причём допускаются дробные оценки. Другие шкалы (например, в США) оперируют буквенными обозначениями. В истории российского образования в разное время применялись 3-, 5-, 8-, 10-, 12-балльные системы оценки знаний. Из них прижилась 5-балльная, которая и была в 1937 году официально установлена Министерством народного просвещения. В течение XX века оценка «1» постепенно вышла из употребления, в результате 5-балльная система трансформировалась в современную 4-балльную. Во многих странах постсоветского пространства произошел отход от нее: Республика Беларусь, Молдавия, Грузия, Армения перешли на 10-балльную шкалу; Украина – на 12-балльную.

Но какова бы, ни была шкала оценивания, сущность оценки остается прежней: определение степени соответствия усвоенных обучающимися знаний, умений и навыков тем, что установлены программой.

В современном вузе актуальна проблема объективности оценки. В сознании студента необъективная оценка ассоциируется с несправедливой. Оценка преподавателя будет справедливой, если она подтверждена объективными рациональными доводами. Если при выставлении отметки преподаватель объяснил: как, за что и почему он выставил именно такую отметку, то есть привёл аргументированные обоснования, то скорее всего, студенты воспримут эту оценку как справедливую. Но преподаватель воспринимает студентов субъективно: их отношение к учёбе, дисциплина на занятиях, посещаемость, – всё это формирует образ студента в сознании преподавателя. Эта субъективность не может не сказаться и на процедуре оценивания, поэтому современные педагоги пытаются найти пути повышения объективности контроля, а значит, и объективности оценки.

Сегодня становится актуальной проблема оценивания не только знаний студента по отдельной дисциплине, но и всех достижений обучающихся, что выражается в создании портфолио студента, в суммировании результатов текущего контроля в итоговой оценке. Кроме того, с присоединением в сентябре 2003 года в России к Болонскому процессу возникает потребность в адаптации форм контроля и оценки в российских вузах к системам контроля,

применяемым в европейских странах. Одной из таких, весьма эффективных, форм педагогического контроля является балльно-рейтинговая система оценивания, применяемая в большинстве европейских и во многих российских вузах.

Технология рейтингового контроля знаний по отдельной дисциплине – математике, была изложена автором в 2004 году в [2, 3]. Применяемая балльно-рейтинговая система оценивания обладает следующими свойствами: открытость, стимулирование, гибкость.

Открытость заключается в том, что каждому студенту с первого занятия известно, как и за что он может получить или потерять баллы. Так, в 2016-17 учебном году в первом семестре студент мог набрать баллы в соответствии со следующим рейтинговым регламентом (таблица)

Таблица – Рейтинговый регламент

Вид работы	Количество баллов
Обязательные баллы:	
Индивидуальная домашняя работа	от 2,5 до 5
Контрольная работа	от 5 до 10
Таблица производных	от 2,5 до 5
Дополнительные баллы:	
Правильный ответ на теоретический вопрос во время опроса	от 0,1 до 1
Решение задачи на повторение у доски	от 0,1 до 1
Решение задачи по новой теме	от 0,5 до 1
Отработка 1 ч. пропущенной лекции или практического занятия	1
«Штрафные» баллы:	
Пропуск 1 ч. лекции или практического занятия	-1
Не сданная в установленный срок индивидуальная домашняя работа	-2
Отсутствие ответа или неверный ответ на теоретический вопрос во время опроса	-0,1
Неверно решенная или нерешенная задача на повторение у доски	от -0,1 до -1

Стимулирование является одним из главных принципов балльно-рейтинговой системы. Стремление увеличить свой индивидуальный балл заставляет студента усерднее готовиться к занятиям, активнее решать задачи во время самостоятельной работы на практических занятиях, своевременно сдавать индивидуальные домашние работы, не пропускать лекции и практические занятия. А возможность вернуть баллы, утраченные из-за пропусков, побуждает студента «отработать» пропущенный материал. Особую роль в стимулировании работы студентов играют дополнительные баллы. В зависимости от активности студентов преподаватель может варьировать количество задач или теоретических вопросов, за которые «начисляются» дополнительные баллы. А в силу того, что эти баллы примерные, педагог за решение одних и тех же задач, но на разных этапах освоения учебного материала может регулировать количество начисляемых дополнительных баллов. Так, на этапе освоения умения вычислять определители за правильно найденный определитель студент может «заработать» 1 балл, а при решении систем методом Крамера правильно вычисленный определитель принесет студенту не более 0,2 баллов.

Гибкость балльно-рейтинговой системы заключается в том, что в любой момент времени преподаватель и студент могут скорректировать свою работу. Студент – набрать баллы, «превратить», например, тройку в четверку; преподаватель – отрегулировать рейтинговый регламент, увеличить или снизить количество дополнительных баллов, перевести рейтинговый балл в любую из шкал оценивания, применяемых в вузе.

Как и любая из форм контроля балльно-рейтинговая система оценивания имеет свои достоинства и недостатки.

Из достоинств можно выделить следующие:

- увеличение объективности оценки;
- повышение посещаемости занятий студентами;
- повышение мотивации студентов к учебе;
- повышение успеваемости, вызванное необходимостью регулярной систематической самостоятельной работы для подготовки к занятиям;
- достижение возможности оценить все виды учебной работы студента по дисциплине в совокупности.

Недостатки системы, затрудняющие её применение:

- существенное увеличение объёма работы преподавателя, вызванное проверкой индивидуальных домашних работ, контрольных работ, заполнением рейтинговых листов;
- слабость применяемой системы оценивания при работе с неуспевающими студентами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Буланова-Топоркова, М.В. Педагогика и психология высшей школы: учебное пособие / М.В. Буланова-Топоркова. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. -544 с.
- 2 Линевиц, О.И. Рейтинговая система оценки знаний студентов как средство повышения эффективности обучения / О.И. Линевиц // Сибирский научный вестник VII: сб. научн. тр. Сиб. отдел. Рос. акад. естеств. наук. -Новосибирск: Изд. Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2004. -С. 147-149.
- 3 Линевиц, О.И. Применение рейтинговой оценки знаний студентов в курсе преподавания высшей математики. / О.И. Линевиц // Сибирский научный вестник VII: сб. научн. тр. Сиб. отдел. Рос. акад. естеств. наук. -Новосибирск: Изд. Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2004. -С. 144-147.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *балльно-рейтинговая система оценивания, педагогический контроль, оценка*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Линевиц Ольга Игоревна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СТИМУЛИРОВАНИЕ УЧЕБНОЙ, НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ, ОБУЧАЮЩИХСЯ НА ОСНОВАНИИ ДОГОВОРА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Ю.С. Боровская, А.В. Мукасеев, Е.А. Григорьев

ECONOMIC PROMOTION OF EDUCATIONAL, SCIENTIFIC RESEARCH WORK OF STUDENTS TRAINING ON THE BASIS OF THE AGREEMENT

Siberian state university of water transport
Ju.S. Borovskaya, A.V. Mukaseev, E.A. Grigoriev

The proposed method extra stimulation of students studying on a paid basis.

Keywords: paid educational services, additional stimulation, rating system

Предложен способ дополнительного стимулирования студентов, обучающихся на платной основе.

Рынок услуг высшего образования представляет собой «систему экономических отношений, которые складываются между производителями образовательных услуг, потребителями и посредниками по поводу производства, обмена и потребления образовательных услуг и продуктов» [1].

В советское время спрос на образовательные услуги высшей школы всегда превышал предложение (директивные планы набора), что характеризовалось высоким конкурсом для поступления в институт (университет). Переход экономики страны к рыночной системе в начале 90-годов прошлого века обусловил трансформацию деятельности всех отраслей, в том числе системы образования.

Получив относительную экономическую свободу деятельности при сокращении бюджетного финансирования, абсолютное большинство вузов страны стало вводить коммерческую (договорную) форму обучения. Таким образом, предложение образовательных услуг стало практически соответствовать спросу за счет реализации платной формы обучения.

Безусловно, образование и в условиях советской экономики также было платным (в экономике не бывает бесплатных благ): обучение студентов осуществлялось за счет средств бюджетов разных уровней, доходы которых формируются из налоговых поступлений, в том числе за счет налогов на доходы физических лиц.

В настоящее время в случае обучения за счет средств федерального бюджета (бюджетов субъектов РФ), условием доступа к высшему образованию являются результаты единого государственного экзамена (ЕГЭ). Некоторые высшие учебные заведения предлагают сдать при поступлении дополнительные экзамены или пройти собеседование.

Если результаты ЕГЭ не позволяют поступить на бюджетную форму, то при наличии платежеспособного спроса заключается договор с абитуриентами, их родителями или заинтересованными юридическими лицами по оказанию платных образовательных услуг (необ-

ходим минимальный балл ЕГЭ, установленный для поступления в вуз). Основным документом, регулирующим оказание платных образовательных услуг, является постановление правительства РФ от 15.08.2013 № 706 [2].

Как платное обучение, так и обучение за счет средств бюджета, являются сторонами одного процесса образовательных услуг. Однако обучающиеся по договору несут значительные расходы, помимо непосредственной оплаты за обучение: отсутствует стипендия, не всегда предоставляется общежитие, для них практически не доступны меры материального поощрения за успехи в учебной и научной работе (за исключением отдельных вузов, таких как, например, НИУ ВШЭ).

В соответствии с Налоговым Кодексом РФ покупатели (заказчики) образовательных услуг имеют право получить налоговый вычет. Эта сумма поступает в качестве частичного возмещения затрат, но не компенсирует издержек студентов-договорников, оплачивающих обучение.

Основной субъект потребления образовательных услуг – обучающийся вне зависимости от формы обучения имеет одинаковые права и обязанности. «Правила стипендиального обеспечения студентов федеральных государственных образовательных учреждений высшего профессионального образования» [3] предусматривают меры поддержки для студентов, имеющих достижения в учебной, научно-исследовательской, общественной, культурно-творческой и спортивной деятельности. Однако эти меры поддержки применяются только для тех студентов, которые обучаются за счет средств федерального бюджета, от мер государственной поддержки отсекаются способные студенты, обучающиеся на платной основе.

Решение данной проблемы осуществляется, прежде всего, путем перевода студентов с платной формы обучения на бюджетную – при наличии вакантных мест. Такая практика существует практически во всех вузах, однако наличие вакантных мест ограничено.

Эффективное решение данной проблемы заключается, на наш взгляд, в формировании централизованного фонда, аккумулирующего средства, поступающие по договорам за обучение. Определенную часть централизованного фонда (по нормативу, утвержденному органом управления вуза) рекомендуется направлять на экономическое стимулирование (поощрение) студентов, обучающимся на платной основе, по результатам рейтинга, включающего учебную, научно-исследовательскую работу. например, можно предложить следующие условия: достаточно только А или Б, с учетом В:

А) получение студентом по итогам промежуточной аттестации в течение не менее 2-х следующих друг за другом семестров, предшествующих назначению скидок (стипендии), оценок «отлично» и «хорошо» при наличии не менее 50% оценок «отлично»;

Б) признание студента победителем или призером проводимых учреждением высшего образования, научной, общественной и иной организацией международной, всероссийской, ведомственной или региональной олимпиады, конференции, конкурса и иного мероприятия, направленных на выявление научных достижений студентов, проведенных в течение 2-х следующих друг за другом семестров предшествующих назначению скидки (стипендии);

В) отсутствие академической задолженности или пересдачи экзамена (зачета) по неуважительной причине в течение 2-х следующих друг за другом семестров, предшествующих назначению скидки (стипендии).

Примеры подобного стимулирования студентов российской практике есть, например «Положение о предоставлении скидок по оплате обучения студентам, обучающимся по договорам об образовании, заключаемым при приеме на обучение за счет средств физических и (или) юридических лиц» НИУ ВШЭ [4].

Таким образом, экономическое стимулирование учебной, научно-исследовательской деятельности студентов, обучающихся на основании договора, позволит создать условия для поддержки способных студентов, что в конечном итоге скажется на повышении эффективности системы подготовки кадров для национальной экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кузьмина, Е.Е. Маркетинг образовательных услуг: учеб. пособие для магистров / Е.Е. Кузьмина. -М.: Изд-во Юрайт, 2012. -330 с.

2 Об утверждении Правил оказания платных образовательных услуг : постановление Правительства РФ от 15 августа 2013 г. №706 // СПС Консультант-Плюс

3 О порядке совершенствования стипендиального обеспечения обучающихся в федеральных государственных образовательных учреждениях профессионального образования: постановление Правительства РФ от 18 ноября 2011 г. №945. // СПС Консультант-Плюс

4 Положение о предоставлении скидок по оплате обучения студентам, обучающимся по договорам об образовании, за-

ТРАНСПОРТНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ключаемым при приеме на обучение за счет средств физических и (или) юридических лиц. -Режим доступа: <http://www.hse.ru>. - 08.05.2015.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *платные образовательные услуги, дополнительное стимулирование, рейтинговая система*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Боровская Юлия Сергеевна, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Мукасей Александр Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Григорьев Евгений Алексеевич, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

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

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Зачёсов В.П., Бунташова С.В. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА СИБИРИ НА РЫНКЕ ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ	3
Зачёсов А.В., Дерябина И.С. РАБОТА ВОДНОГО ТРАНСПОРТА В РАЙОНАХ АЗИАТСКОГО ЗАПОЛЯРЬЯ	7
Боровская Ю.С., Мукасеев А.В., Григорьев Е.А. АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТРИЧНЫХ МЕТОДИК ВЫБОРА ФИНАНСОВОЙ СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЯ	9
Боровская Ю.С., Зыкова В.Ю., Попов В.Н. РАСЧЕТ ОБЪЕМА ПЕРЕГРУЗКИ ГРУЗОВ ПО ПРЯМОМУ ВАРИАНТУ С РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ	11
Боровская Ю.С., Мукасеев А.В., Григорьев Е.А. ОСОБЕННОСТИ ИСЧИСЛЕНИЯ И БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА НАЛОГА НА ИМУЩЕСТВО ОРГАНИЗАЦИЙ	14
Тарасов В.В., Тарасов О.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЮРВЕЙЕРСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ФЛОТА ПРИ ПОГРУЗКЕ И ВЫГРУЗКЕ ГРУЗОВЫХ ПАРТИЙ В ПОРТАХ	15
Тарасов В.В., Машкина А.В. РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ЗАПОРНО-ПЛОМБИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВОГО ТИПА ДЛЯ ОПЛОМБИРОВАНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ	22
Котков С.А. ВЫБОР СУДНА-ПРОТОТИПА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИБИРСКОГО БУКСИРА-ТОЛКАЧА	26
Колодяжная О.В. РОЛЬ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА В РАЗВИТИИ НОВОСИБИРСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ	29

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

Дёмин Ю.В., Палагушкин Б.В., Иванов Г.В., Кузнецов А.Ю., Плотников Д.Н., Солнцева Е.Н., Романов М.Н. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ПО МИНИМАЛЬНОЙ СТОИМОСТИ МАТЕРИАЛОВ И МОНТАЖА ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ	33
Пикалов А.С., Величко Д.В., Севостьянов А.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ 3D НИВЕЛИРОВАНИЯ ICON LEICA GEOSYSTEMS ПРИ РАБОТАХ ПО ПЛАНИРОВКЕ ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА	37
Пилипенко Т.В., Самшорина А.А. АНАЛИЗ РАЗРУШЕНИЯ БЕРЕГОВОГО СКЛОНА ОБСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ВЕСЕННОГО ПАВОДКА НА РЕКЕ ОБЬ	40
Калашников А.А. ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ СУДОХОДНЫХ ПРОРЕЗЕЙ НА КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКАХ РЕК	41

СУДОВОЖДЕНИЕ

Комаровский Ю.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ КООРДИНАТ ПРИЁМНИКОВ SGN-500 И GP-37 НА ОШВАРТОВАННОМ СУДНЕ	44
Комаровский Ю.А. ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ СУДНА ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ПРИЁМНИКОМ GPS LEICA 1220 GG	47
Сичкарев В.И., Барбашев М.М. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПРЯМОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПО РАЗНОСТЯМ ВЫСОТ И АЗИМУТОВ СВЕТИЛ	51
Заводовская А.И. АНАЛИЗ МЯГКОБОЛОЧЕЧНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТОРЦОВЫХ ЗАКРЫТИЙ ДОКОВ	53
Сичкарев В.И., Барбашев М.М. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА ПРЯМОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПО РАЗНОСТЯМ ВЫСОТ И АЗМУТОВ СВЕТИЛ	57
Кац В.А., Комаровский Ю.А. ЗАВИСИМОСТЬ ТОЧНОСТИ КООРДИНАТ ОТ ВОЗРАСТА ПОПРАВОК НА МАЛОМ УДАЛЕНИИ ОТ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СТАНЦИИ	59
Бимбереков П.А. ПОСТРОЕНИЕ АППРОКСИМАЦИОННЫХ ВЫРАЖЕНИЙ ГРАФИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ МЕЛКОВОДЬЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ЗАСАСЫВАНИЯ ВОДОМЁТНОГО КОМПЛЕКСА ВОДОИЗМЕЩАЮЩИХ СУДОВ	64

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Бондарь В.Н., Малозёмов А.А., Кукис В.С. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ПУСКА ДИЗЕЛЯ СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ	66
Глушков С.С., Лебедев О.Б. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВАЛОВЫХ ЛИНИЙ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПО КРУТИЛЬНЫМ КОЛЕБАНИЯМ	70
Тарасов В.В., Кулямов П.В., Деревцов Е.М. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССОВ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШТАТНОГО СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ	74

СОДЕРЖАНИЕ

Тарасов В.В., Патенкова Е.П., Деревцов Е.М. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА С ПОМОЩЬЮ ЦИКЛОННОГО ВАКУУМ-ТЕРМИЧЕСКОГО ИСПАРИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	81
Анисимов Е.Е. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛО-СБЕРЕГАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА (КАПСУЛЫ) ДЛЯ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ БЕЗГАРАЖНОМ ХРАНЕНИИ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА.....	87
Горелик Г.Б., Кончаков Е.И., Викулов С.В. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВО- И МАСЛОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ.....	92
Кича П.П., Семенюк Л.А., Таращан Н.Н. ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ОЧИСТКИ МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ.....	97
Куделин О.Г., Фомин В.И., Линевиц О.И. РЕАЛИЗАЦИЯ ТОЧНОГО РЕШЕНИЯ НЕКОТОРОГО КЛАССА ЗАДАЧ, С ПОМОЩЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛГЕБРЫ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ.....	100
Куделин О.Г., Фомин В.И. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КООРДИНАТ ТОЧКИ ЭКСТРЕМУМА ДЛЯ НЕКОТОРОГО КЛАССА ФУНКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГЕБРЫ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ.....	103
Арабьян Л.К., Батаева З.Б., Авотин А.С. КОМПЕНСАЦИЯ ИЗНОСОВ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ АЛЮМОТЕРМИТНОЙ НАПЛАВКОЙ.....	106
Пушнин В.П., Долгополов Г.А. ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ДИЗЕЛЬНОЙ САЖИ ТОПЛИВ С ПРИСАДКАМИ.....	108
Кича Г.П., Кича П.П., Семенюк Л.А. ВОЗМОЖНОСТЬ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ ТИПА ЧН18/22.....	112
Чичерин С.В. РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ПРЕДИЗОЛИРОВАННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ОБЪЕКТАХ СТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ.....	116
Токарев А.О., Кузьмин В.И., Федотова Е.С., Малыгина Я.К., Сохранич А.И. ЗАЩИТА ОТ КАВИТАЦИОННОГО И ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПЛАЗМЕННО-НАПЫЛЕННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ.....	118
Куделин О.Г., Фомин В.И. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСТРЕМУМА ДЛЯ НЕКОТОРОГО КЛАССА ФУНКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГЕБРЫ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ.....	125
Бимбереков П.А. МЕТОД ПОДОБИЯ ПОТОКОВ СО СТЕПЕННЫМ МАСШТАБИРОВАНИЕМ.....	128
Глушков С.П., Кочергин В.И., Красников В.В. ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕГО СИНТЕЗ-ГАЗА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.....	130
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА	
Манусов В.З., Ахьёев Д.С. ПЕРСПЕКТИВЫ ИННОВАЦИОННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ОБМОТКОЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ РОССИИ.....	135
Манусов В.З., Ганиев З.С., Ахьёев Д.С. ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ ДЕФИЦИТА МОЩНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН.....	139
Манусов В.З., Хасанзода Н., Ахьёев Д.С. СОЗДАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОСТРОВА РУССКИЙ И УПРАВЛЕНИЕ ЕЁ РЕЖИМАМИ.....	142
Горелов С.В., Спирев С.М., Денчик Ю.М., Иванов М.Н., Рыжаков В.В., Кислицин Е.Ю. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ.....	145
Бурков А.Ф., Веревкин В.Ф. ЭВОЛЮЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.....	149
Горелов В.П., Денчик Ю.М., Иванова Е.В., Сальников В.Г., Рыковский Н.А., Иванов Д.М. СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЧИСЛА СРАБАТЫВАНИЯ УСТРОЙСТВА СБРОСА ГОЛОЛЁДА.....	152
Бурков А.Ф., Веревкин В.Ф. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЗМОВ.....	155
Базавлук А.А., Денчик Ю.М., Иванова Е.В., Иванов Д.М., Сальников В.Г., Сарин Л.И. КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 6-10 кВ ПРИ КОММУТАЦИЯХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С «ЖЕСТКОЙ» СРЕДОЙ ГАШЕНИЯ ДУГИ.....	158
Бурков А.Ф., Веревкин В.Ф., Сгребнев Н.В. ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ МОРСКОГО ТРАНСПОРТА И ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.....	167
Бурков А.Ф., Веревкин В.Ф. ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЕ МАЛОТОННАЖНЫХ СУДОВ.....	171
Бурков А.Ф., Веревкин В.Ф., Юрин В.Н. АНАЛИЗ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН.....	174

СОДЕРЖАНИЕ

Манусов В.З., Бумцэнд У., Фролова В.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТУПЕНЕЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА	177
ЭКОЛОГИЯ	
Горелик Г.Б., Викулов С.В., Кончаков Е.И. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	181
Лещенко С.И., Бобыльская В.А., Киндер Д.Е. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ ЭНЕРГОБИОКОМПЛЕКСОВ.....	187
Седых В.А., Бучельников М.А. ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ РЕЧНОГО АЛЛЮВИЯ В РУСЛЕ РЕКИ	191
Рощина Е.В., Тарасенко С.Я. ОЦЕНКА РЕЧНОГО СТОКА РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ С ВОДОСБОРА МАЛЫХ РЕК г.НОВОСИБИРСКА	194
Панов Д.В., Спиренкова О.В. ПРИМЕНЕНИЕ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОСБОРОВ МАЛЫХ РЕК г.НОВОСИБИРСКА.....	197
ТРАНСПОРТНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ	
Ботвинков В.М., Седых В.А., Голышев Н.В. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГИДРОТЕХНИКОВ-ПУТЕЙЦЕВ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ РАЗВИТИЯ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА.....	200
Линевич О.И. ПРИМЕНЕНИЕ БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ КАК ФОРМЫ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ОБУЧЕНИИ МАТЕМАТИКЕ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ	201
Боровская Ю.С., Мукасеев А.В., Григорьев Е.А. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СТИМУЛИРОВАНИЕ УЧЕБНОЙ, НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ, ОБУЧАЮЩИХСЯ НА ОСНОВАНИИ ДОГОВОРА.....	204

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)		
<i>Ключевые слова</i> (от 3 до 10 слов)		
Количество ссылок на литературу		
Организация (полное юридическое название и полный почтовый адрес для каждого из авторов)		
Автор(ы) (ФИО полностью, ученая степень, занимаемая должность, числовой идентификационный номер автора: Author ID в системе РИНЦ)		
Координаты для обратной связи (ФИО полностью, адрес электронной почты, мобильный телефон*)		X

*-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
№1-2 за 2017 год

Главный редактор – Зачёсов В.П.

Ответственный за выпуск – Коновалов В.В.

Подписано в печать 23.06.2017 г. с оригинал-макета
Бумага офсетная №1, формат 60x84 1/8, печать трафаретная – Riso.
Усл. печ. л. 24,3; тираж 500 экз. Заказ №65
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