

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК ВОДНЫМ ТРАНСПОРТОМ РОССИИ В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ

ФГБУ «Администрация морских портов Каспийского моря»

М.А. Абдулатипов

THE CURRENT STATE AND TENDENCIES IN THE ORGANIZATION OF TRANSPORTATIONS BY THE WATER TRANSPORT IN RUSSIA UNDER ICE CONDITIONS

Administration of the Caspian Sea Ports (Admin of the Caspian Sea Ports) 31, Kapitana Krasnova St., Astrakhan, 414016, Russia

Magomed A. Abdulatipov (Head of Admin of the Caspian Sea Ports)

**ABSTRACT:** The article gives an overview of the current state of ice navigation in the marine basins of Russia. Some tendencies and prospects for development of ice conducting in the freezing ports of the country are considered.

**Keywords:** freezing seaports, ice conducting

Проведен обзор современного состояния ледовых навигаций в морских бассейнах России. Рассмотрены некоторые тенденции и перспективы развития ледовых проводок в замерзающие порты страны.

В 2016 году объем перевозок грузов водным транспортом составил 137,61 млн. т (100,7% к уровню 2015 г.), грузооборот – 107,52 млрд. т·км (105% к уровню 2015 г.). При этом основной прирост объема перевозок обеспечил морской транспорт (130,4% к уровню 2015 г.), в то время, как на внутреннем водном транспорте темп роста количества перевезенных грузов составил 96,1% к уровню 2015 г. [1].

Одним из путей развития водного транспорта является организация перевозок грузов и пассажиров в зимний период. Эта задача связана с предоставлением комплекса ледокольных услуг на водных акваториях страны (рисунок 1).



Рисунок 1 – Ареалы морей, в которых организуется ледовая навигация

В настоящее время ледокольные услуги в Российской Федерации предоставляют следующие организации:

- 1 Федеральное государственное унитарное предприятие атомного флота (ФГУП «Атомфлот»);
- 2 Открытое акционерное общество «Мурманское морское пароходство» (ОАО «ММП»);
- 3 Мурманский транспортный филиал ОАО «Горно-металлургическая компания «Норильский никель» (МТФ ОАО «ГМК «Норильский никель»);
- 4 Открытое акционерное общество «Нефтяная компания «ЛУКОЙЛ» (ОАО «ЛУКОЙЛ»);

5 Федеральное бюджетное учреждение «Морская спасательная служба Росморречфлота» (ФБУ «МСС Росморречфлота»);

6 Публичное акционерное общество «Дальневосточное морское пароходство» (ПАО «ДВМП»);

7 Федеральное государственное унитарное предприятие «Росморпорт» (ФГУП «Росморпорт»).

Первые пять из указанных организаций выполняют транспортную работу в составе Федерального государственного казенного учреждения «Администрация Северного морского пути (СМП)» (ФГКУ «АСМП»), которое было создано распоряжением Правительства Российской Федерации в марте 2013 года [2]. Особенностью арктических навигаций является использование как дизель-электрических так и атомных ледоколов «Ямал», «50 лет Победы», «Таймыр» и «Вайгач».

Объемы перевозок по СМП (ФГКУ «АСМП» и ПАО «ДВМП») в последние годы растут (таблица). При этом соответственно увеличивается и количество ледовых проводок. Так в 2016 году только атомными ледоколами было проведено 410 судов, что более, чем в два раза чем в 2015 году (195 судов) [3].

Специалисты положительно оценивают перспективы развития перевозок по СМП [4]. Это связано в первую очередь с тем, что 20 февраля 2013 г. президент России В.В. Путин утвердил «Стратегию развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года», где основной целью политики государства в Арктике является «... устойчивое развитие социальных и экономических процессов Арктической зоны Российской Федерации» [5]. Другим обстоятельством, способствующим росту интересов к морской деятельности России в Арктике, является активизация действий ряда стран, в первую очередь представляющих участников и наблюдателей Арктического совета, в связи с перспективами добычи углеводородов в этом регионе.

Однако у СМП существуют и определенные проблемы. Во-первых, это наличие альтернатив СМП как в виде действующего морского пути Святого Лаврентия, где ледовые услуги предоставляют ледоколы США и Канады, так и нового маршрута – Трансарктического морского пути, который рядом стран Европейского союза предлагается проложить по международным водам вне пределов Арктических российских или канадских территориальных вод между двумя точками: Аляска и Исландия. Во-вторых, это значительные ожидания проводок судов ледоколами в настоящее время. Так, по данным делового журнала «Инвест-Форсайт» в навигацию 2017 года дизель-электроход «Василий Головин» на маршруте Архангельск-Сабетта в прямом направлении на ожидание проводки потратил 8,5 суток (56% от общего времени рейса), а в обратном направлении – 5,7 суток (43%) [6].

ФГУП «Росморпорт» отвечает за предоставление услуг по ледовой проводке в замерзающих морских портах Российской Федерации и на подходах к ним посредством следующих своих филиалов:

- Азово-Черноморский бассейновый филиал (морской порт Ейск);
- Азовский бассейновый филиал (морские порты: Азов, Ростов-на-Дону, Таганрог);
- Архангельский филиал (морские порты: Архангельск и Кандалакша);
- Астраханский филиал (морские порты: Астрахань и Оля);
- Ванинский филиал (морской порт Ванино);
- Магаданский филиал (морской порт Магадан);
- Северо-Западный бассейновый филиал (морские порты: Большой порт Санкт-Петербург, Выборг, Высоцк, Пассажирский порт Санкт-Петербург, Приморск и Усть-Луга).

Для обеспечения ледокольных проводок судов ФГУП «Росморпорт» располагает флотом из 31 дизель-электрического ледокола, в т.ч. числе:

- 8 линейных ледоколов;
- 6 портовых ледоколов;
- 14 мелкосидящих ледоколов;
- 3 вспомогательных ледокола.

В настоящее время завершается строительство четырех дизель-электрических ледоко-

*Таблица – Объемы перевозок грузов по Северному морскому пути [3]*

Год	Общее количество груза, тыс. т
2011	258,0
2012	3876,0
2013	3913,4
2014	3982,0
2015	5431,7
2016	7480,2

лов: трех мощностью 16 МВт, проекта 21900М и одного мощностью 25 МВт, проекта 22600.

В России морские зимние навигации широко практикуются в Финском заливе Балтийского моря, Белом, Каспийском, Азовском, Черном морях и морях Дальнего Востока. На рисунке 2 приведены графики, отражающие изменение количества проведенных судов и протяженности ледовых проводок в бассейнах морей, обслуживание которых возложено на ФГУП «Росморпорт», за период с 2009 по 2016 гг. по отношению к соответствующим среднегодовым значениям, а также соответствующие логарифмические тренды [7].

Из рисунка 2 видно, что как в части количества проводок, так и в части их протяженности наблюдается тенденция к их снижению, причем темпы сокращения количества проводок выше, нежели темпы снижения протяженности самих проводок. По отдельным регионам картина весьма неоднозначная: если в бассейне Балтийского моря ситуация аналогична положению в целом по ФГУП «Росморпорт», в Северном и Дальневосточном бассейнах количество проводок за последние годы не претерпело значительных изменений, то бассейны Южных морей имеют положительные темпы роста количества ледовых проводок.



Рисунок 2 – Темпы роста количества проведенных судов и протяженности ледовых проводок в зоне ответственности ФГУП «Росморпорт» за период с 2009 по 2016 гг. по отношению к соответствующим среднегодовым значениям, %

О наличии перспективы перевозок в условиях зимней навигации свидетельствуют плановые значения объема перевозок грузов, обозначенные в «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года». На рисунке 3 приведены графики ожидаемых темпов роста объемов перевозок морским транспортом в целом и по СМП в частности по отношению к факту 2016 года в соответствии базовым и инновационным вариантами развития транспортной системы страны [8].



Рисунок 3 – Плановые темпы роста объемов перевозок морским транспортом по отношению к факту 2016 г.: в целом и по СМП

Для освоения перевозок в зимний период необходим современный ледокольный флот и рейдовые суда ледокольного типа для обслуживания транспортных судов в портах, поэтому на период до 2030 года Правительством Российской Федерации намечено построить и модернизировать атомные и дизель-электрические ледоколы в количестве 30 единиц [9], а также аварийно-спасательные суда, включая понтоны, природоохранные гидрографические и другие суда обеспечивающего флота. Вместе с тем, как показывает опыт организации ледовых проводок, необходимо совершенствование и оперативного управления работой ледоколов и вспомогательного флота с применением современных средств навигации и связи.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Транспорт России. Информационно-статистический бюллетень январь-декабрь 2016 года. - М.: Изд-во Минтранса России, 2016. -72 с.
- 2 Администрация Северного морского пути. - Режим доступа: <http://www.nusra.ru/>. -03.09.2017
- 3 Морские вести России. -Режим доступа: <http://www.morvesti.ru/detail.php?ID=61568>. -02.08.2017
- 4 Рукша, В.В. Структура и динамика грузоперевозок по Северному морскому пути: история, настоящее и перспективы/ В.В. Рукша, М.С. Белкин, А.А. Смирнов, В.Г. Арутюнян // -Арктика: экология и экономика, -2015. -- №4 (20). -С. 104-110.
- 5 Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года // СПС КонсультантПлюс.
- 6 Волостнов, А. Что будет с Северным морским путем / А. Волостнов. -Режим доступа: <https://www.if24.ru/chto-budet-s-sevmorputem/>. -02.10.2017
- 7 ФГУП «Росморпорт». -Режим доступа: <http://www.rosmorport.ru/>. -04.09.2017
- 8 Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года (в редакции Распоряжения №1032-р Правительства РФ от 11 июня 2014 г.) // СПС КонсультантПлюс.
- 9 Минтранс: морской флот к 2030 году пополнится 30 ледоколами. -Режим доступа: <https://newsland.com/user/4297671280/content/mintrans-morskoi-flot-k-2030-godu-popolnitsia-30-ledokolami/4404717>. -05.09.2017

**REFERENCES**

- 1 Transport of Russia [*Transport Rossii*]. Moscow: Mintrans Publ. 2016. 72 p.
- 2 Administration of Northern Sea Route official website [*Administratsiya Severnogo morskogo puti*]. URL: <http://www.nusra.ru/>. - September 03, 2017
- 3 Maritime News of Russia [*Morskie vesti Rossii*]. URL: <http://www.morvesti.ru/detail.php?ID=61568>. -August 2, 2017
- 4 Ruksha V.V., Belkin M.S., Smirnov A.A., Arutyunyan V.G., Structure and dynamics of cargo transportation through Northern Sea Route: past, present and prospects [Struktura i dinamika gruzoperevozok po Severnomu morskому puti: istoriya, nastoyashchee i perspektivy]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. 2015. No. 4 (20). pp. 104-110.
- 5 Development strategy of the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period to 2020 [*Strategiya razvitiya Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii i obespecheniya natsional'noy bezopasnosti na period do 2020 goda*]. "Consultant-Plus" law reference system.
- 6 Volostnov, A. What will happen to the Northern Sea Route [*Chto budet s Severnym morskim putem*]. URL: <https://www.if24.ru/chto-budet-s-sevmorputem/>. -October 2, 2017
- 7 *Rosmorport*. URL: <http://www.rosmorport.ru/>. -September 04, 2017
- 8 Transport Strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 [Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda]. "Consultant-Plus" law reference system.
- 9 Ministry of Transport: 30 icebreakers will join Russian Sea Fleet by 2030 [*Mintrans: morskoy flot k 2030 godu popolnitsya 30 ledokolami*]. URL: <https://newsland.com/user/4297671280/content/mintrans-morskoi-flot-k-2030-godu-popolnitsia-30-ledokolami/4404717>. -May 9, 2017

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:***замерзающие морские порты, ледовые проводки***СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:***Абдулатипов Магомед Алиевич, руководитель ФГБУ «АМП Каспийского моря»***ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:***414016, г. Астрахань, ул. Капитана Краснова, 31, ФГБУ «АМП Каспийского моря»*

---

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ФЛОТА НА ВОДНЫХ ПУТЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА****ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»****А.В. Зачёсов****IMPROVING THE MERCHANT FLEET OPERATION EFFICIENCY ON WATERWAYS OF EXTREME NORTH**

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

Aleksandr V. Zachyevov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

---

**ABSTRACT:** The main directions of improving the river fleet operating in Arctic are considered.**Keywords:** *waterways, transportations, logistics, merchant fleet*

Рассмотрены основные направления улучшения речного флота в арктических условиях.

Новое геополитическое положение России, курс на интеграцию в мировую экономику, повышение самостоятельности территорий, переход к рыночной экономике – всё это обусловило необходимость поиска новых подходов к решению, в том числе, и региональных транспортных проблем, одной из которых являются районы Крайнего Севера.

Проблемы освоения и обслуживания этих районов сложны и требуют всесторонней разработки. Важное значение при этом отводится вопросам транспортного обслуживания вновь осваиваемых территорий, поскольку транспорт является непременным условием функционирования системы материального производства.

Основным видом транспорта региона в настоящее время и в ближайшей перспективе остаётся водный, в том числе речной, представленный магистральными реками Иртыш, Обь, Енисей, Лена с их многочисленными притоками первого и второго порядка, а также рек с ограниченными условиями плавания Пур, Таз, Хатанга, Анабар, Оленёк, Яна, Индигирка, Колыма и морской с морями Северного Ледовитого океана Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского.

В свою очередь успешное развитие перевозок водным транспортом зависти от состояния водных путей и рациональной организации судоходства и использования флота. Для этого в современных условиях требуется в первую очередь решение комплекса задач по двум направлениям:

1 Создать на водных путях необходимые и благоприятные условия для развития судоходства;

2 Разработать системы оптимальной организации перевозок и рационального использования транспортных и перегрузочных средств на базе логистических технологий.

При решении этих задач следует учитывать особенности состояния водных путей и работы речного транспорта в районах Крайнего Севера по сравнению с другими регионами России.

Основные особенности сводятся к следующему:

– водные пути являются важнейшей составной частью транспортной инфраструктуры Сибири. Они играют существенную роль в решении насущных государственных задач. Особенно важно их значение в этом регионе, где они являются практически безальтернативными в обеспечении жизнедеятельности городов и населённых пунктов;

– множество открываемых месторождений находятся за Полярным кругом, где реки, особенно малые, досконально не изучены, не приспособлены для регулярного судоходства, хотя введение их в хозяйственный оборот необходимо;

– традиционные технологии производства путевых работ по дноуглублению, выправлению русел, дно и берегоочистке не всегда могут быть использованы в силу целого ряда причин, обусловленных особенностями, в которых путевым приходится работать. В частности, в районах Заполярья реки при впадении в Северные моря имеют многочисленные бары, в районе наблюдаются постоянные сгонно-нагонные и приливно-отливные явления, вечномерзлый грунт, суровые климатические условия, штормы, туманы, короткий период навигации, работа в ледовых условиях и т.п.;

– интенсивное засорение рек с ограниченными условиями плавания и берегов, особенно на причалах грузополучателей, которые обычно имеют слабую материально-техническую базу, грузы приходится выгружать на необорудованный берег;

– необходимость предварительного проведения изысканий русловыми изыскательскими партиями перед производством путевых работ, а также работы транспортного флота в прибрежных морских условиях.

Действующая традиционная технология производства путевых работ не всегда в полной мере учитывает изложенные особенности и требует существенной корректировки, которая обусловлена, в том числе, и последствиями внедрения в хозяйственный комплекс страны рыночных принципов.

Экономические реформы в стране привели к существенному сокращению:

– водных путей, обслуживаемых судоходной обстановкой и не имеющих финансирования;

– протяжённости водных путей с гарантированными габаритами судового хода;

– гарантированных глубин практически на всех водных путях Сибири.

Кроме этого на большинстве малых рек снята освещённая судоходная обстановка, изменён режим графиков объезда участков. Судоходство стало возможным только в светлое время суток.

В такой обстановке сохранить водные пути без должного финансирования, которое существовало в дореформенный период не удаётся. Необходимо определить или изыскивать необходимые средства и восстанавливать водные пути или заменять транспортный флот на маломощный и малогабаритный. Нужны серьёзные научные обоснования решения проблемы. Ошибки в принятии окончательных решений недопустимы, они привели к трудноисправимым последствиям. Так, например, в 1967 году Минречфлот России принял решение об увеличении гарантированной глубины единой глубоководной системы в европейской части страны (ЕГС) с 365 см до 400 см. С этого момента началось строительство самых больших в

мире речных крупнотоннажных судов с большой осадкой, одновременно учитывая необходимость резкого увеличения объёмов перевозок грузов и тонно-километров. Однако, в обусловленное время глубины ЕГС не обеспечивались, в результате чего крупнотоннажный, дорогостоящий флот стал работать с недогрузом, а малотоннажный и среднетоннажный потерял своё значение.

В результате себестоимость речных перевозок начала интенсивно увеличиваться, в 1980-ых годах достигла аналогичного показателя на железнодорожном транспорте, а в последующие годы на большинстве направлений оказалась выше на 25%, чем на ж/д транспорте.

Грузонапряжённость внутренних водных путей существенно сократилась. Таков итог необоснованных управленческих решений.

Проведённый анализ содержания путевых работ на реках Сибири показывает, что их объём распределяется следующим образом: землечерпание занимает порядка 60-65% от общего объёма работ, обстановка 25-30%, выправление 5-8%, траление и дноочистение порядка 1% каждый.

Учитывая особенности выполнения путевых работ в северных условиях рекомендуется по опыту Иртышского бассейна использовать следующую разработанную технологию производства этих работ [2]:

- на устьевых участках на барах рек рекомендуется использовать землесосы типа «Уренгой», способные также вести отвал грунта «на стрелу» вдоль кромки прорези;
- в русле рек в зимний период выполнять буровзрывные работы с целью рыхления и дальнейшего траления мёрзлого грунта;
- в период навигации прорезь углублять землесосами пр.23-110 или им подобными, а извлечённый при этом грунт удалять через насадку. В местах, где землесосы не могут извлечь мёрзлые грунты, осуществлять повторные взрывные работы.

Эффективность работы флота во многом определяется совершенствованием технологического процесса доставки грузов с использованием логистических технологий в системе совместной работы смежных видов транспорта.

Сложившаяся в настоящее время транспортная схема на Крайнем Севере не оставляет ничего другого о взаимодействии работы смежных видов транспорта на транзитных перевозках кроме речного и морского. Эффективность этого взаимодействия в основном зависит от согласованности подхода речных и морских судов в порты передачи грузов. Анализ совместной работы этих видов транспорта в северных портах показывает, что затраты времени у речного тоннажа в составе кругового рейса достигает 30-35% времени, в том числе и от несогласованной работы. В то же время имеются подтверждённые практикой рекомендации согласованной работы. Суть их состоит в следующем [1]:

Интервалы прибытия морских судов в порт передачи груза определяется исходя их зависимости

$$U_m = 24 \frac{t_c Q_m}{G_n},$$

где  $t_c$  – время согласованной работы перевалочного порта, сут.;

$Q_m$  – эксплуатационная грузоподъёмность морского судна, т;

$G_n$  – плановое количество передачи груза на период согласованной работы перевалочного порта, т.

Если нормы загрузки речного судна  $Q_p$  и морского  $Q_m$  совпадают, то интервалы прибытия речного  $U_p$  и морского  $U_m$  равны

$$U_p = U_m.$$

В практике работы флота  $Q_m > Q_p$  и интервал прибытия речного флота должен быть равен

$$U_p = \frac{t_g^p}{n_k} = \frac{t_{обп}^p}{n_k},$$

где  $t_g^p$  – валовое время грузовой обработки речного судна (состава), т;

$t_{обп}^p$  – суммарное время грузовой обработки первого (предыдущего) речного судна (состава), ч;

$n_k$  – кратность весовых норм загрузки морского и речного судов, измеряемая целым числом.

Время прибытия судов одного вида транспорта назначается в зависимости от времени прибытия судов другого вида транспорта с учётом затрат времени на коммерческие, технические и рейдово-маневровые операции. Например, известно время прибытия морского судна  $D_{пр}^M$ , в этом случае дата прибытия речного состава  $D_{пр}^P$  может быть установлена по формуле

$$D_{пр}^P = D_{пр}^M + (\sum t_{m.o}^M - \sum t_{m.o}^P),$$

где  $\sum t_{m.o}^M, \sum t_{m.o}^P$  – время выполнения коммерческих, технических и маневровых операций по морскому и речному судов, сут.

Время прибытия речных составов также можно определить исходя из установленного времени начала грузовой обработки морского судна

$$D_{пр}^P = D_{сп}^M - \sum t_{m.o}^P.$$

Опыт работы Игарского порта по перевалке пиломатериалов из речных судов в морские с использованием изложенной методики позволяет сократить валовое время согласованной работы флота на 15-20%.

Кроме этого, повысить эффективность работы флота можно, если использовать при планировании его работы методы оптимизации. Как показывают многочисленные исследования НГАВТ это приводит к снижению показателя себестоимости перевозок на 6-8%.

В целом экономическая оценка от производства путевых работ, рациональной организации судоходства и использования флота в оптимальном режиме осуществляется следующим образом:

Прирост прибыли

$$\Delta\Pi = f_1(D_1, D_2, \Pi_1) + f_2(S_1, S_2, D_2) + f_3(\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \Pi_2),$$

где  $D_1, D_2$  – доходы от хозяйственной деятельности предприятия до и после выполнения путевых работ, руб.

$S_1, S_2$  – себестоимость (затраты на рубль транспортных услуг) производства предприятия до и после выполнения путевых работ, руб.

$\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2$  – расходы на перевозку грузов до и после эксплуатации флота в оптимальном режиме, руб.

$\Pi_1$  – прибыль от хозяйственной деятельности предприятия до выполнения путевых работ, руб.

$\Pi_2$  – прибыль от эксплуатации флота в оптимальном режиме, руб.

$f_1$  – годовой прирост прибыли за счёт увеличения объёма транспортных услуг, оказанных предприятиям, организациям и населению после выполнения путевых работ, руб.

$f_2$  – годовой прирост прибыли за счёт снижения эксплуатационных расходов по содержанию флота после выполнения путевых работ, руб.

$f_3$  – годовой прирост прибыли от использования флота в оптимальном режиме, руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Бучин, Е.Д. Взаимодействие внутреннего водного транспорта с морским, железнодорожным и автомобильным / Е.Д. Бучин. Изд. 2-е. перераб. и доп. -М. Транспорт, 1978. -192 с.

2 Андросов, Ю.Г. Обеспечение судоходных условий в Обь-Иртышском бассейне / Ю.Г. Андросов // Повышение эффективности работы речного транспорта Сибири в новых экономических условиях: сб. научн. тр. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 1996, -С. 35-41.

1 Buchin E.D., Interaction of inland waterway, maritime, rail and road transport modes [Vzaimodeystvie vnutrennego vodnogo transporta s morskim, zheleznodorozhnym i avtomobil'nyim]. Moscow: Transport Publ. 1978. 192 p.

2 Androsov Yu.G., Providing navigability (maintaining minimum sufficient waterway depths) in Ob-Irtysh river basin [Obespechenie sudokhodnykh usloviy v Ob-Irtyshskom basseyne]. *Povyshenie effektivnosti raboty rechnogo transporta Sibiri v novykh ekonomicheskikh usloviyakh*. Novosibirsk: Novosibirsk st. acad. water transp. Publ. 1996, pp. 35-41.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** водные пути, перевозки, логистика, флот

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Зачёсов Александр Венедиктович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»

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



## ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНОГО ФЛОТА ТОМСКОЙ СУДОХОДНОЙ КОМПАНИИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Ю.И. Шестаков, О.В. Колодяжная, Е.А. Носенко

### FLEET OPERATION PROCEDURE IN TOMSK SHIPPING COMPANY

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

Yuriy I. Shestakov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

O'ga V. Kolodyazhnaya (Senior Lecturer of SSUWT)

Ekaterina .A. Nosenko (Student of SSUWT)

**ABSTRACT:** A summary review of the operation of the cargo fleet in the shipping company was carried out.

**Keywords:** freight transportation, cargo fleet, operating costs

Выполнен краткий общий обзор работы транспортного флота судоходной компании.

В начале 2000-х годов работа транзитного флота Томской судоходной компании сложилась следующим образом: в начале навигации основное ядро транзитного флота работает на перевозках нерудных строительных материалов (НСМ) с Верхне-Томских карьеров в г.Томск. Эти перевозки интенсивно продолжаются, в зависимости от судоходных условий в течение 25-35 суток.

После окончания работ на Верхне-Томских карьерах, весь флот начинает работать на транзитных линиях средней и нижней Оби. Фактически работа флота ТСК делится на два периода: первый – спуск НСМ с Верхне-Томских карьеров, второй – работа на транзитных перевозках, в частности перевозка тех же, но фракционированных НСМ, потребителям.

Но не все имеющиеся в компании буксиры-толкачи задействованы на перевозках ПГС с Верхне-Томских карьеров весь период. Некоторые теплоходы делают всего по 2-5 рейсов и примерно 10-11 теплоходов работает на этой линии, пока позволяет глубина. Показатели перевозок и работы флота представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели перевозок и работы флота за навигацию 2014 года

Тип флота	Расход топлива, т	Мощность, л.с	Период работы, сут		Всего, сут.	Масса перевозок, тыс. т		Всего, тыс. т	Грузооборот, млн. т·км		Всего, млн. т·км	Затраты флота, тыс. сил·сутки в эксплуатации		Всего, тыс. сил·сутки в экспл.,	Валовая средняя производительность	Средняя дальность перевозки, км
			I	II		I	II		I	II		I	II			
ОТ-2405	439,5	2400	4	131	135	10,8	72,5	83,3	0,57	98,7	99,27	9,6	314,4	324,0	306,41	1192
РТ-614	299,8	760	31	211	242	71,9	32,8	104,7	3,81	37,4	41,21	18,6	160,3	178,96	229,93	393
РТ-624	327,2	900	10	199	209	25,8	66,3	92,1	1,37	86,7	88,07	9,0	179,1	188,1	469,27	958
РТ-644	306,3		23	200	223	57,2	56,1	113,3	3,03	65,8	68,83	20,7	180,0	200,7	342,94	607
РТ-652	299,3		3	195	198	9,6	57,1	66,7	0,51	74,4	74,91	2,7	175,5	178,2	420,37	1133
РТ-739	354,4		18	202	220	47,5	74,8	122,3	2,52	90,8	93,32	16,2	181,8	198,0	471,51	763
РТ-633	202,2		–	179	179	–	40,4	40,4	–	36,6	36,60	–	107,4	107,4	341,06	906
РТ-634	313,0		30	205	235	68,1	56,4	124,5	3,61	61,0	64,61	18,0	123,0	141,0	458,22	519
РТ-661	302,8	600	22	202	224	60,5	39,0	99,5	3,21	50,8	54,01	19,5	161,6	181,1	298,28	543
РТ-725	253,2		32	211	243	74,9	59,6	134,5	3,97	57,2	61,17	19,2	130,2	149,4	409,3	455
РТ-738	270,5		31	201	232	55,2	43,0	98,2	2,93	52,5	55,43	18,6	120,6	139,2	398,13	564
РТ-762	268,2		26	212	238	60,6	72,8	133,4	3,21	29,1	32,31	15,6	127,2	142,8	226,33	242
РТ-765	271,9		14	187	201	31,6	44,4	76,0	1,67	48,5	50,17	12,9	149,6	162,5	308,73	660
Лоцман	274,9		32	224	256	71,0	83,0	154,0	3,76	46,5	50,26	19,2	164,4	183,6	327,21	326
РТ-813	227,4		–	210	210	–	53,5	53,5	–	50,2	50,20	–	126,0	126,0	398,65	939
РТ-820	264,8		26	200	226	62,8	49,9	112,7	3,33	69,0	72,33	15,6	120,0	135,6	533,77	642
РТ-812	263,6		27	196	223	51,2	50,5	101,7	2,71	56,6	59,30	23,5	149,9	173,46	341,86	589
Итого:	4939		–	–	–	3694	–	–	1710,8	–	–	1052,0	–	–	2910,0	–



В первый период навигации все без исключения буксиры-толкачи, независимо от мощности, работают с одной баржей проекта Р-56 на «плече» 60 км. Перевозки осуществляются вниз по течению, а вверх составы возвращаются порожнем. По структуре технологического процесса это типичная линия – «вертушка». Поскольку «плечо» перевозок короткое, а загрузка барж одинакова для всех типов тяги, то эксплуатационные показатели работы тяги будут выше у менее мощных теплоходов:

- техническая скорость хода с грузом на таком плече у всех видов тяги практически одинакова;
- коэффициент использования времени на ход с грузом так же одинаков;
- нагрузка по пробегу у буксиров с меньшей мощностью выше.

В связи с этим валовая производительность у тяги 600 л.с. выше, чем у более мощных теплоходов.

Например, согласно данным таблицы 1 ОТ-2405 (2400 л.с.) составит 59,4 т·км/сило-сут. Для РТ-644 (900 л.с.) валовая производительность 113,4 т·км/сило-сут., а для РТ-725 (600 л.с.) – 206,8 т·км/сило-сут. Различие в значениях показателя очевидно.

Соответственно, использование мощных теплоходов на этой линии не целесообразно. Однако на практике возникают обстоятельства, вынуждающие использовать все имеющиеся теплоходы. Так, например, проводка и спуск земснарядов к месту добычи НСМ и обратно, постановка землечерпательной техники к разрабатываемому карьеру и т.д. Эти работы должны выполнять более мощные теплоходы, проектов ОТ или РТ (900 л.с.).

Использование этих теплоходов на линии – «вертушке», приводит к увеличению себестоимости перевозок. А при достаточно мощном грузопотоке к значительным дополнительным расходам по перевозке.

Масса добычи и перевозок НСМ и их динамика представлены на рисунке 1.

Масса добычи НСМ по годам не стабильна, что сказывается на финансовых результатах работы ТСК. Следует иметь в виду, что добыча НСМ на Верхне-Томских карьерах, доставка их в Томск с выгрузкой на подводный склад не приносит компании ни рубля дохода, и только когда эти же НСМ отправляют в транзит, компания получает доходы [1, 2].

Масса отправленных в транзит НСМ показана на рисунке 2.

Анализируя рисунок 1 и 2 можно заметить, что масса перевозок в транзите больше, чем масса добытого НСМ. Это объясняется тем, что кроме добычи собственного НСМ в транзит отправляется груз (щебень), который прибывает по железной дороге и переваливается на суда в Томском речном порту.

Транзитный флот Томской судоходной компании по регистрационной мощности делится на четыре группы:

- I группа..... 2400 л.с.;
- II группа..... 900 л.с.;
- III группа..... 760 л.с.;
- IV группа ..... 600 л.с.

Теплоходы II, III и IV групп – это теплоходы проекта 1741А, серийно построенные для бассейнов Сибири и Дальнего Востока и находящиеся в Обь-Иртышском бассейне. Здесь они показали себя с самой лучшей стороны, обеспечивая высокую производительность за счет достаточно высокой тяговой характеристики.

На пяти серийных теплоходах проекта 1741А в ТСК заменили главные двигатели. Один

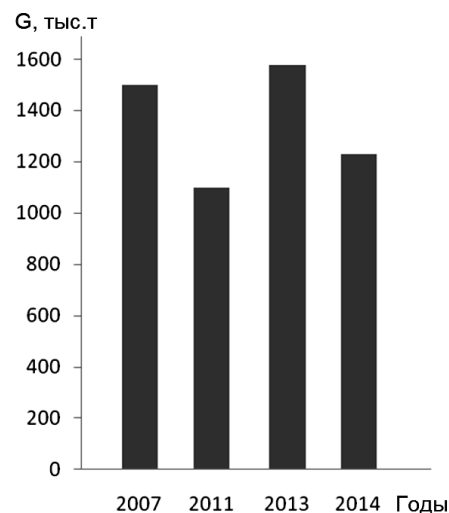


Рисунок 1 – Масса перевозок

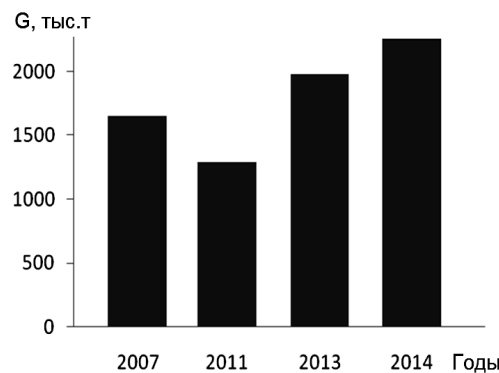


Рисунок 2 – Масса перевозок НСМ в транзите

теплоход имеет мощность 760 л.с. и четыре теплохода регистровую мощностью 900 л.с. [3].

Для анализа работы теплоходов в динамике авторы выбрали 2007, 2011 и 2014 годы с интервалом исследования четыре года, потому что эти годы отличаются по водности, продолжительности навигации, обеспеченности, ледовой обстановке и т.д. Анализ результатов работы одного и того же флота в различных условиях приводит к наиболее объективным корректным результатам и выводам.

Эксплуатационный аппарат компании понимает неэффективность использования мощных теплоходов в первый период навигации, поэтому использует теплоходы с более высокой мощностью по времени меньше, чем менее мощные.

Так, например, в навигацию 2007 года из четырех теплоходов регистровой мощностью 900 л.с. один отработал 6 суток, другой – 9 суток, а еще два – 33 и 36 суток.

В навигацию 2011 и 2014 годов время работы составило 2; 5; 5; 0 суток и 10; 18; 3; 23 суток соответственно.

Приведенный выше краткий анализ работы тяги выполнен для определения структуры эксплуатационных издержек по группам флота. Работа тяги в первый период навигации не позволяет (согласно анализу) сравнить эти издержки, так как флот с различными эксплуатационными характеристиками работает в условиях, не позволяющих полностью реализовать его возможности.

На рисунках 3-5 приведена расчетная структура эксплуатационных издержек по статьям за весь период эксплуатации флота. Анализ проводится по укрупненным показателям.

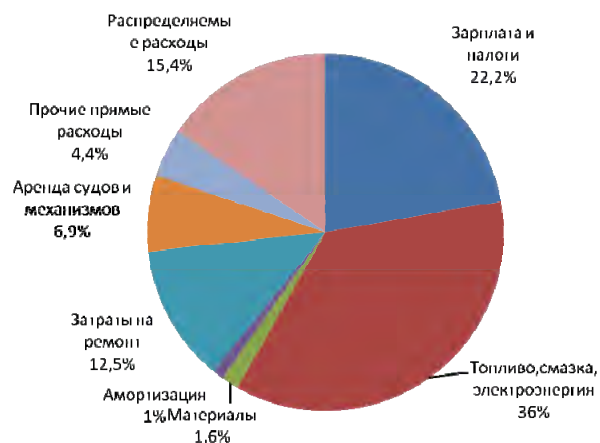


Рисунок 3 – Структура расходов на перевозку в 2007 г.



Рисунок 4 – Структура расходов на перевозку в 2011 г.



Рисунок 5 – Структура расходов на перевозку в 2014 г.

Из данных рисунков 3-5 очевидно, что наиболее существенная доля расходов приходится на две статьи – заработная плата и топливо. Расходы по этим статьям составляют примерно 60% от общих расходов. Еще две статьи – ремонт и распределяемые, также составляют значительную часть расходов.

**Выводы:**

1 Сложившаяся схема работы транспортного флота является рациональной, так как подтверждается опытом работы АО «ТСК» на протяжении долгих лет.

2 Руководство ТСК понимает, что использование флота с высокой мощностью в первый период навигации экономически менее целесообразно и использует этот флот только в случае необходимости.

3 Состав и структуру эксплуатационных расходов по флоту анализировать в первый период не корректно по причинам, указанным в статье.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Захаров, В.П.. Организация работы речного флота / В.П. Захаров, В.П. Зачесов, А.Г. Малышкин. -М.: Транспорт, 1994. -286 с.
- 2 Шестаков, Ю.И. Справочные материалы по техно-эксплуатационным характеристикам, нормам и нормативам основных элементов речного транспорта / Ю.И. Шестаков, В.И. Резинкин. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2002. -97 с.
- 3 Беленовский, П.Н. Руководство по теплотехническому контролю серийных теплоходов / П.Н. Беленовский. -М.: Транспорт, 1980. -447 с.

## REFERENCES

- 1 Zakharov V.P., Zachesov V.P., Malyshkin A.G. Operation management of river merchant fleet [*Organizatsiya raboty rechnogo flota*]. Moscow: Transport Publ. 1994. 286 p.
- 2 Shestakov Yu.I., Rezinkin V.I., Reference on performance and operational characteristics, norms and standards of the main elements of river transport [*Spravochnye materialy po tekhnо-ekspluatatsionnym kharakteristikam, normam i normativam osnovnykh elementov rechnogo transporta*]. Novosibirsk: Novosibirsk st. acad. water transp. Publ. 2002. 97 p.
- 3 Belenovskiy, P.N. Manual for thermal monitoring of mass produced ship [*Rukovodstvo po teplotekhnicheskому kontrolyu seriynykh teplokhodov*]. Moscow: Transport Publ. 1979. 424 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *грузовые перевозки, транспортный флот, эксплуатационные расходы*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Шестаков Юрий Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*  
*Колодяжная Ольга Викторовна, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»*  
*Носенко Екатерина Анваровна, студент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

## **АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РАСХОДОВ НА ТОПЛИВО ТРАНСПОРТНОГО ФЛОТА АО «ТОМСКАЯ СУДОХОДНАЯ КОМПАНИЯ»**

**ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»**

**Ю.И. Шестаков, О.В. Колодяжная, Е.А. Носенко**

### **STUDY OF THE DYNAMICS OF CARGO FLEET FUEL COSTS IN TOMSK SHIPPING COMPANY**

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia  
Yuriy I. Shestakov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)  
Ol'ga V. Kolodyazhnaya (Senior Lecturer of SSUWT)  
Ekaterina .A. Nosenko (Student of SSUWT)

---

**ABSTRACT:** Authors analyze factors affecting the fuel costs.

**Keywords:** *unit costs, cargo fleet*

---

Выполнен анализ расходов на топливо в зависимости от различных факторов.

С 2000-х годов, Томская судоходная компания стабильно выпускает ежегодный «Отчет по эксплуатационной работе», в котором подробно описаны, учтены и рассчитаны основные производственно-финансовые показатели компании и, в частности, эксплуатационные показатели работы флота. Все годовые «Отчеты» выполнены в единой методике и структуре, что очень удобно для читателя и позволяет производить качественный анализ деятельности ТСК.

В отчетах приведены данные, позволяющие анализировать эксплуатационные расходы по статьям. Результаты анализа свидетельствуют о том, что расходы на топливо и смазочные материалы составляют около трети всех расходов по судну, и поскольку их доля столь значительна, именно они и стали объектом исследования, изложенного в данной статье.

Расход топлива по транзитному флоту в «Отчете по эксплуатационной работе» ТСК представлен в табличной форме по каждому буксиру-толкачу в сумме за весь период эксплуатации, то есть за два периода навигации, первый и второй. Это обстоятельство затрудняет анализ и существенно искажает его результаты.

Авторов статьи интересовали относительные показатели расхода топлива, такие как:

- суточный расход по каждому судну за период эксплуатации, т/сут.;
- расход топлива на единицу мощности в сутки эксплуатации, кг/(л.с.·сут.);
- расход топлива на тонну перевезенного груза, кг/т груза.
- расход топлива на единицу грузооборота, кг/1000 т·км;

Все расчеты по трем годам (2007, 2011, 2014 г.) проводились по единой схеме. Пример расчетов приведен в таблице 1.

Анализ результатов расчетов в таблице 1 показывает, что все относительные величины (расход топлива на 1 т/сут., на 1 т перевезенного груза, на единицу грузооборота) одного порядка и сопоставимы, но в тоже время, имеются расхождения в разы. Например, у теплоходов мощностью 900 л.с. (РТ-624, РТ- 644) расход топлива на одну тонну перевезенного груза в 2007 году в 2-3 раза больше, чем у теплоходов мощностью 600 л.с. Эти показатели раз-

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

няются и между теплоходами одинаковой мощности, например в 2014 году у теплоходов РТ-633 и РТ-661 расход топлива на 1 т перевезенного груза отличается в 2,7 раза.

Таблица 1 – Расход топлива за 2014 год

Тип флота	Мощность, л.с.	т/сут.	кг/(л.с.·сут.)	кг/т груза	кг/1000 т·км
ОТ-2405	2400	3,256	1,356	5,280	4,427
Среднее значение		3,256	1,356	5,280	4,427
РТ-624	900	1,566	1,740	3,553	3,707
РТ-644	900	1,373	1,526	2,703	4,450
РТ-652	900	1,512	1,680	4,529	3,996
РТ-739 (И.Лавров)	900	1,611	1,790	2,897	3,796
Среднее значение		1,510	1,678	3,255	3,949
РТ-614	760	1,239	1,630	2,864	7,284
Среднее значение		1,239	1,630	2,864	7,284
РТ-633	600	1,130	1,883	5,004	5,521
РТ-634	600	1,322	2,220	2,514	4,844
РТ-661	600	1,352	2,253	3,042	5,606
РТ-725	600	1,042	1,736	1,882	4,140
РТ-738	600	1,166	1,943	2,754	4,881
РТ-762 (Б. Гоздан)	600	1,127	1,878	2,010	8,299
РТ-765 (А. Садовский)	600	1,353	2,254	3,579	5,419
Лоцман	600	1,074	1,790	1,785	5,470
РТ-813	600	1,083	1,805	4,249	4,527
РТ-820	600	1,172	1,953	2,350	3,659
РТ-812 (Драчев)	600	1,182	1,970	2,616	4,444
Среднее значение		1,180	1,967	2,581	4,966

Сравниваемые относительные величины по годам для теплоходов мощностью 900 л.с. представлены в таблице 2. Очевидно, что показатели отличаются по годам и теплоходам.

Конечно, на относительные показатели влияет множество факторов: это и гарантированные глубины судового хода, и продолжительность весеннего периода, и время работы флота в первый период навигации на Верхне-Томских карьерах, и типы двигателей.

Таблица 2 – Относительные показатели расхода топлива за навигацию по годам

Тип флота	Год	Мощность, л.с.	Расход топлива				$\sum g_{нав}$	$\sum t_{сум}$	$\sum G$ , тыс. т	$\sum G\ell$ , млн. т·км
			т/сут	кг/л.с·сут	кг/т груза	кг/1000 т·км				
ОТ-2405	2007	2400	4,499	1,875	4,931	4,791	913,3	203	185,2	190,6
	2011		3,646	1,519	4,279	3,857	765,6	210	178,9	198,2
	2014		3,520	1,356	5,280	4,427	439,6	135	83,2	99,3
Среднее:			3,866	1,611	4,736	4,340				
Сумма:			–				2118,4	548	447,3	488,1
РТ-624	2007	900	2,399	2,600	3,869	5,176	411,7	176	106,4	79,5
	2011		1,566	1,740	3,535	3,651	324,2	207	91,7	88,0
	2014		1,566	1,740	3,553	3,707	327,2	209	92,1	88,3
Среднее:			1,796	1,995	3,663	4,143				
Сумма:			–				1063,1	592	290,2	256,6
РТ-644	2007	900	1,866	2,070	3,746	5,339	378,8	203	101,1	70,9
	2011		1,635	1,817	4,282	4,309	341,7	209	79,7	79,3
	2014		1,547	1,526	2,703	4,450	306,3	223	113,3	68,8
Среднее:			1,617	1,797	3,491	4,686				
Сумма:			–				1026,8	635	294,1	219,1
РТ-652	2007	900	1,850	2,056	1,450	5,101	368,3	199	254	72,2
	2011		1,584	2,640	4,862	3,653	318,5	201	65,5	87,2
	2014		1,512	1,680	4,529	3,996	299,3	198	66,1	74,9
Среднее:			1,649	1,832	2,557	4,209				
Сумма:			–				986,1	598	385,6	234,3
РТ-739	2007	900	1,850	2,055	1,741	5,705	412,5	223	237	72,3
	2011		1,616	1,807	3,580	3,828	326,5	202	91,2	85,3
	2014		1,611	1,790	2,897	3,790	354,2	220	122,3	93,4
Среднее:			1,695	1,883	2,427	4,355				
Сумма:			–							

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Продолжение таблицы 2

Тип флота	Год	Мощность, л.с.	Расход топлива				$\sum g_{нав}$	$\sum t_{сум}$	$\sum G$ , тыс. т	$\sum G\ell$ , млн. т·км
			т/сут	кг/л.с·сут	кг/т груза	кг/1000 т·км				
Сумма:			–				1093,2	645	450,5	251,0
Итого среднее:			1,688	1,875	2,935	4,338	–			
Итого:			–				4169,2	2470	1420,4	961
РТ-614	2007	760	1,573	2,070	1,719	5,120	308,3	196	179,3	60,1
	2011		1,335	1,757	1,596	4,078	272,4	204	170,7	66,8
	2014		1,239	1,630	2,864	7,286	299,8	242	104,6	41,2
Среднее:			1,371	1,805	1,937	5,238	–			
Сумма:			–				880,5	642	454,6	168,1
РТ-633	2007	600	1,460	2,433	1,417	4,366	290,5	199	205	60,9
	2011		1,310	2,183	1,573	4,361	276,5	211	175,8	63,4
	2014		1,130	1,883	5,004	5,521	202,2	179	40,4	36,6
Среднее:			1,306	2,177	1,826	4,781	–			
Сумма:			–				769,2	589	421,2	160,9
РТ-634	2007	600	1,443	2,405	1,447	4,791	282,9	196	195,4	59,1
	2011		1,235	2,058	1,348	4,152	257,0	208	190,6	69,7
	2014		1,322	2,220	2,514	4,844	313,0	235	124,4	64,6
Среднее:			1,335	2,225	1,671	4,433	–			
Сумма:			–				852,9	639	510,4	192,4
РТ-661	2007	600	1,293	2,155	1,096	4,598	281,9	218	257,1	61,3
	2011		1,178	1,963	1,542	3,524	237,9	202	154,3	67,5
	2014		1,352	2,253	3,042	5,606	302,8	224	99,5	50,0
Среднее:			1,277	2,129	1,610	4,601	–			
Сумма:			–				822,6	644	510,9	178,8
РТ-725	2007	600	1,373	2,288	1,297	4,968	314,5	229	242,5	63,3
	2011		1,072	1,787	1,238	3,934	249,8	233	201,8	63,5
	2014		1,042	1,736	1,882	4,140	253,2	243	134,5	61,2
Среднее:			1,160	1,933	1,412	4,348	–			
Сумма:			–				817,5	705	578,8	188,0
РТ-738	2007	600	1,524	2,540	1,847	4,808	310,8	204	168,3	64,6
	2011		1,124	1,724	1,513	4,084	258,5	230	170,8	63,3
	2014		1,166	1,943	2,754	4,881	270,5	232	98,2	55,4
Среднее:			1,261	2,102	1,920	4,582	–			
Сумма:			–				839,8	666	437,3	183,3
РТ-762	2007	600	1,286	2,143	1,664	4,918	272,6	212	163,8	54,5
	2011		1,219	2,030	2,968	4,477	256,1	210	86,3	57,2
	2014		1,127	1,878	2,010	8,299	268,2	238	133,4	32,3
Среднее:			1,207	2,012	2,078	5,534	–			
Сумма:			–				796,9	660	383,5	144,0
РТ-765	2007	600	1,395	2,325	1,278	4,215	267,9	192	209,5	63,6
	2011		1,195	2,158	1,264	4,412	267,8	224	211,8	60,7
	2014		1,353	2,254	3,579	5,419	271,9	201	75,9	50,2
Среднее:			1,309	2,182	1,624	4,628	–			
Сумма:			–				807,6	617	497,2	174,5
Лоцман	2007	600	1,521	2,535	1,439	4,703	302,6	199	210,3	64,3
	2011		1,035	1,725	1,282	3,813	243,3	235	189,8	63,8
	2014		1,074	1,790	1,785	5,470	274,9	256	154	50,3
Среднее:			1,190	1,983	1,481	4,601	–			
Сумма:			–				820,8	690	554,1	178,4
РТ-813	2007	600	1,304	2,173	3,364	8,430	246,6	189	73,3	29,3
	2011		1,315	2,192	3,470	4,765	257,8	196	74,3	54,1
	2014		1,083	1,805	4,249	4,527	227,4	210	53,52	50,2
Среднее:			1,230	2,050	3,639	5,478	–			
Сумма:			–				731,8	595	201,12	133,6
РТ-820	2007	600	1,684	2,807	2,536	6,230	294,7	183	116,2	47,3
	2011		1,283	2,138	1,764	4,033	256,5	200	145,3	63,6
	2014		1,172	1,953	2,350	3,659	264,8	226	112,7	72,4

*Продолжение таблицы 2*

Тип флота	Год	Мощность, л.с.	Расход топлива				$\sum g_{нав}$	$\sum t_{сут}$	$\sum G$ , тыс. т	$\sum G^l$ , млн. т·км
			т/сут	кг/л.с·сут	кг/т груза	кг/1000 т·км				
Среднее:			1,340	2,233	2,181	4,452				
Сумма:										
РТ-812	2007	600	1,317	2,195	1,000	7,613	242,4	184	244,4	31,8
	2011		1,171	1,952	1,526	4,110	240,0	205	157,3	58,4
	2014		1,182	1,970	2,616	4,444	263,6	223	100,7	59,3
Среднее:			1,219	2,032	1,485	4,990				
Сумма:										
Итого среднее:			1,255	2,092	1,774	4,726				
Итого:							8821,1	7026	4971,1	1866,7

Чтобы выявить какие-то зависимости расхода топлива от внешних факторов, дальнейший анализ проводится для работы флота только на транзитных перевозках потому что:

- технология работы флота в первый период навигации у всех теплоходов независимо от мощности одинакова – одна баржа проекта Р-56 и одинаковое время круговых рейсов на «плече» 60 км;

- время работы теплоходов на Верхне-Томских карьерах у всех теплоходов различны;

- масса перевезенного груза в первый период у многих теплоходов даже больше, чем во второй период.

Для объективного сравнения расхода топлива по всем теплоходам на перевозках только транзитных грузов принято допущение, что суточный расход топлива в первый и второй период навигации у каждого конкретного судна одинаков. Тогда расход топлива во второй, межлетний период, определяется по формуле

$$g_{меж} = g_{нав} - t_{раб} \cdot \bar{g}_{сут}, T,$$

где  $g_{нав}$  – навигационный расход топлива, т;

$\bar{g}_{сут}$  – суточный расход топлива, т;

$$\bar{g}_{сут} = \frac{g_{нав}}{t_s};$$

$t_{раб}$  – время работы судна на Верхне-Томских карьерах, сут.

$t_s$  – период работы, сут.

Например, ОТ-2405 (2014 год)

$$g_{меж} = 439,6 - 4 \cdot \frac{439,6}{135} = 426,6 \text{ т}$$

Все расчеты по (1) сведены в таблицу 3.

Предварительный анализ таблицы 3 показывает, что расход топлива как на тонну перевезенного груза, так и на тонно-километр продукции значительно различается между группами флота. В данном случае под группами флота понимаются четыре группы по регистравой мощности – ОТ-2400 л.с., РТ-900 л.с., РТ-760 л.с. и РТ-600 л.с.

Буксиры-толкachi мощностью 600 л.с. имеют меньший расход топлива на тонну перевезенного груза, чем все другие группы флота, на 7% в сравнении с РТ-900 и на 45% в сравнении с РТ-760. Но показатели расхода топлива на тонно-километр продукции меньше у группы флота РТ-900 примерно на 20-40%, чем у трех других групп флота.

Конечно, некорректно систематизировать и делать выводы по одному случайно выбранному отрезку времени [1, 2]. Проведем расчеты по трем годам: 2007, 2011, 2014. Как указывалось выше, удельный расход топлива зависит от многих факторов, в том числе от «субъективных», учесть которые очень трудно. К таким факторам авторы относят:

- техническое состояние главных двигателей и вспомогательных механизмов;
- квалификацию машинно-трюмной команды;
- качество топлива;
- число оборотов главных двигателей при толкании груженых барж вниз по течению;
- наличие случайных стоянок за время кругового рейса и т.д.

К факторам влияющим на расход топлива, которые можно анализировать относятся, в первую очередь, средняя дальность перевозки грузов, поскольку все грузопотоки направлены вниз по течению, обратно составы следуют с порожним тоннажем, то есть все буксирно-

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

баржевые составы находятся в объективно сравнимых условиях, тем более, что средняя дальность перевозки грузов между группами флота находится в пределах 250-300 км.

Таблица 3 – Показатели перевозок и работы флота 2014 года в межсезонный период

Тип флота	Расход топлива, т	Мощность, л.с.	Период работы, сут.	Масса перевозок, тыс.т	Грузооборот, млн. ткм	Средняя дальность перевозки, км	Расход топлива	
							кг/т	кг/1000 т·км
ОТ-2405	426,6	2400	131	72,5	98,7	1361	5,884	4,322
Среднее:						1361	5,884	4,322
Сумма:	426,6	-	131	72,5	98,7	-	-	-
РТ-614	261,4	760	211	32,8	37,4	1140	7,970	6,989
Среднее:						1140	7,970	6,989
Итого:	261,4	-	211	32,8	37,4	-	-	-
РТ-624	311,6	900	199	66,3	86,7	1310	4,700	3,594
РТ-644	270,7		200	56,1	65,8	1173	4,825	4,114
РТ-652	294,9		195	57,1	74,4	1303	5,165	3,964
РТ-739	325,4		202	74,8	90,8	1214	4,350	3,584
Среднее:							1249	4,729
Сумма:	12026,0	-	796	2543,0	317,7	-	-	-
РТ-633	20227,0	600	179	40,4	36,6	906	5,007	5,527
РТ-634	271,0		205	56,4	61,0	1082	4,805	4,443
РТ-661	273,1		202	39,0	50,8	1302	7,003	5,376
РТ-725	219,9		211	59,6	572,0	959	3,689	3,844
РТ-738	234,4		201	43,0	523,0	1220	5,450	4,464
РТ-762	238,9		212	72,8	29,1	399	3,282	8,210
РТ-765	253,0		187	44,4	483,0	1093	5,698	5,217
Лоцман	240,6	600	224	83,0	463,0	560	2,899	5,174
РТ-S13	227,4		210	53,5	502,0	938	4,251	4,530
РТ-S20	234,4		200	49,9	69,0	1383	4,697	3,397
РТ-812	231,7		196	50,5	56,6	1119	4,585	4,094
Среднее:							942	4,433
Сумма:	2626,6		2227	592,5	557,9	-	-	-

Наглядно, зависимости удельного расхода топлива от средней дальности перевозок по годам и по отдельным буксирам-толкачам типа РТ-900 л.с приведена на рисунках 1-3.

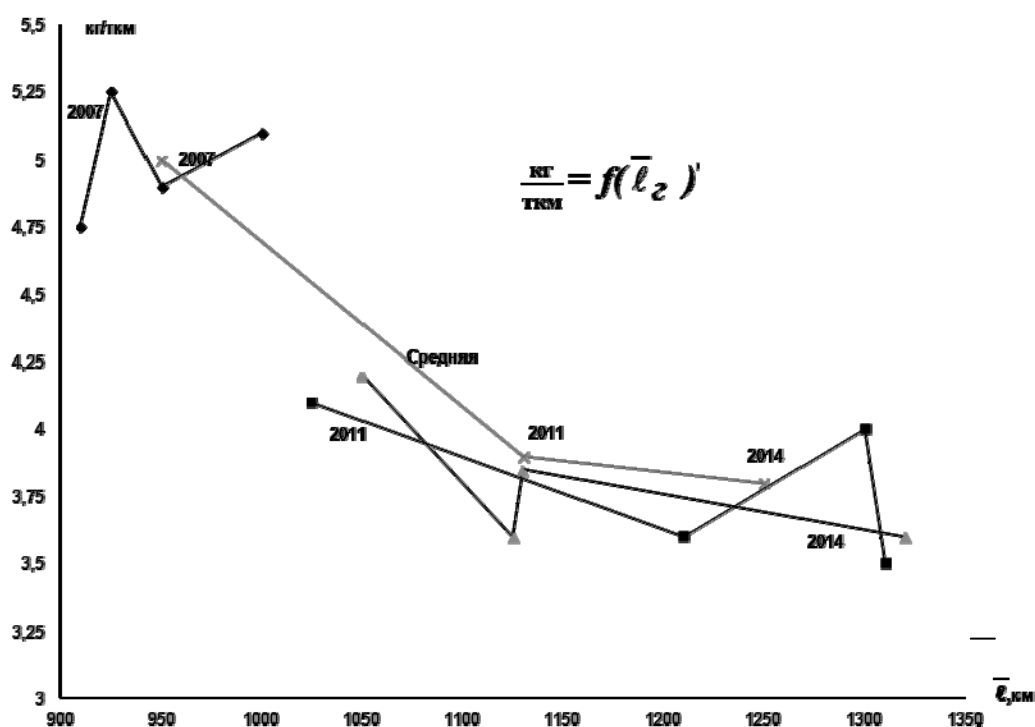


Рисунок 1 – Зависимость расхода топлива от средней дальности перевозок (РТ-900 л.с.), кг/1000 т·км



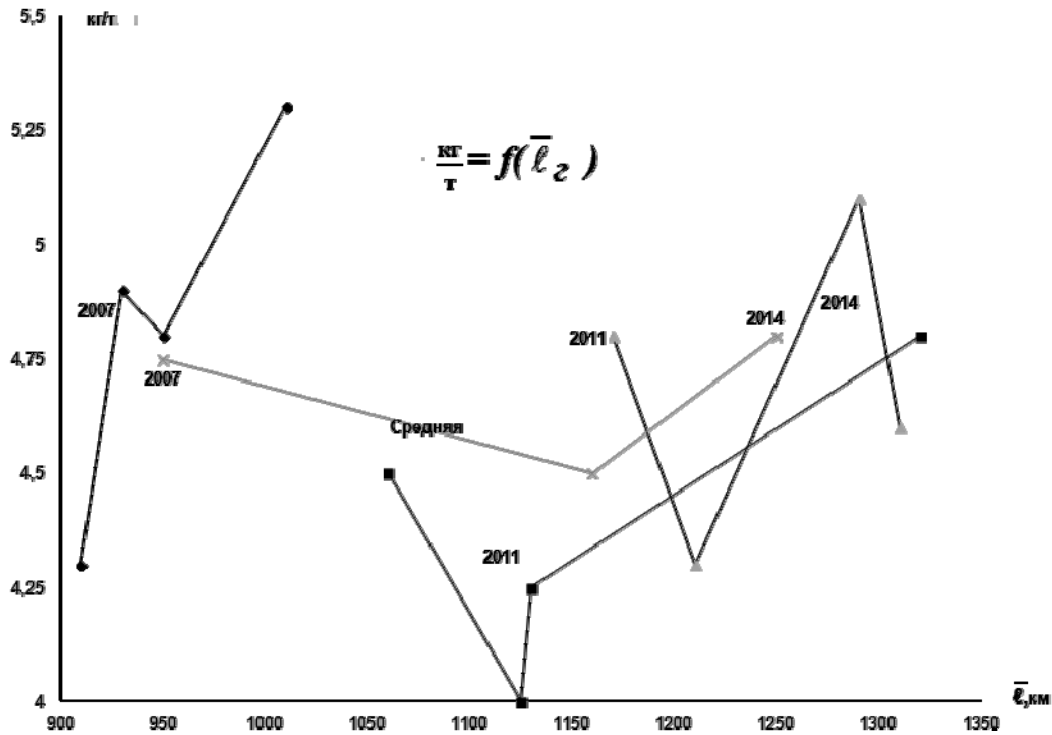


Рисунок 2 – График зависимости расхода топлива от средней дальности перевозок (РТ-900 л.с.), кг/т перевезенного груза

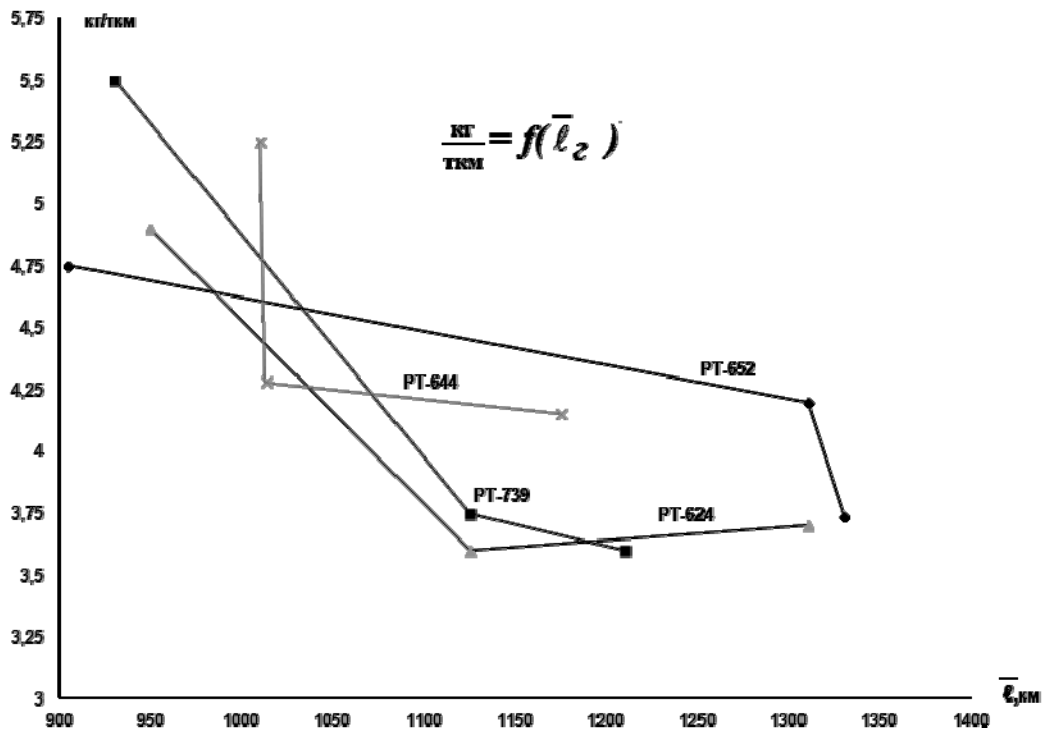


Рисунок 3 – График зависимости расхода топлива от средней дальности перевозок для теплоходов РТ-900 л.с., кг/т-км

Рассчитанный ранее показатель расхода топлива на тонно-километр выполненной продукции (грузооборот) является относительной величиной, учитывающей как массу груза, так и расстояние перевозки, что обеспечивает его объективность.

Графики на рисунках 1-3, не выявляют прямой зависимости расхода топлива как функции от  $\bar{l}_2$ , значит, эта зависимость не является определяющей.

Анализируя кривые (рисунок 1 и 2) очевидно, что характер их зависимости от расстояния перевозок как по тоннам перевезенного груза, так и по тонно-километрам грузооборота

практически сходен.

При этом показатель удельного расхода на единицу грузооборота можно считать наиболее объективным, учитывающим общее количество факторов, влияющих на показатели расхода топлива.

Графики (рисунок 1 и 2) следует читать так: по оси абсцисс – дальность перевозок, по оси ординат – удельный расход топлива, кривые графиков – это функции от аргумента по исследуемым годам, а «среднее» – это средневзвешенное значение по грузообороту и по годам. На рисунке 3 приведены зависимости удельного расхода топлива по каждому теплоходу (РТ-900) от средней дальности перевозок.

Из графиков очевидно, что показатели «падают» или очень незначительно растут (РТ-624). Эта положительная тенденция объясняется сокращением времени стояночных операций состава барж под обработкой относительно времени кругового рейса, с ростом средней дальности перевозок. Чем больше расстояние перевозки, тем меньше величина относительного расхода топлива на единицу грузооборота.

На рисунке 4 показано, насколько отличаются удельные показатели по одним и тем же типам флота по годам. Поэтому возникает необходимость исследовать эти зависимости по условиям навигации: сравнить время эксплуатации флота, глубины по участкам, продолжительность весеннего и межлетнего периода, среднее время работы Верхне-Томских карьеров. Анализ произведен за 2007, 2011 и 2014 годы (таблица 4).

Таблица 4 – Условия навигации для ТСК

Год	Начало спуска барж с Верхне-Томских карьеров	Окончание эксплуатационного периода	Продолжительность эксплуатационного периода, сут	Время работы в Верхне-Томских карьерах, сут	Глубина судового хода	
					макс.	мин.
2007	19 апреля	11 ноября	212	48	290	210
2011	20 апреля	8 ноября	206	40	280	225
2014	11 апреля	9 ноября	216	32	450	280

В 2007 на участке Томск-Соснино минимальная глубина судового хода 210 см наблюдалась с начала октября, а до этого времени средняя глубина на лимитирующих участках составляла около 250 см.

В 2011 году на этом же участке минимальная глубина судового хода – 215 см с 27 сентября, а средняя глубина до этого дня около 250 см.

В 2014 году здесь же минимальная глубина судового хода – 280 см с 19 сентября, а средняя глубина до этого дня около 390 см.

Для межлетнего периода навигации рассчитаны удельные показатели по годам, по типам флота, и по

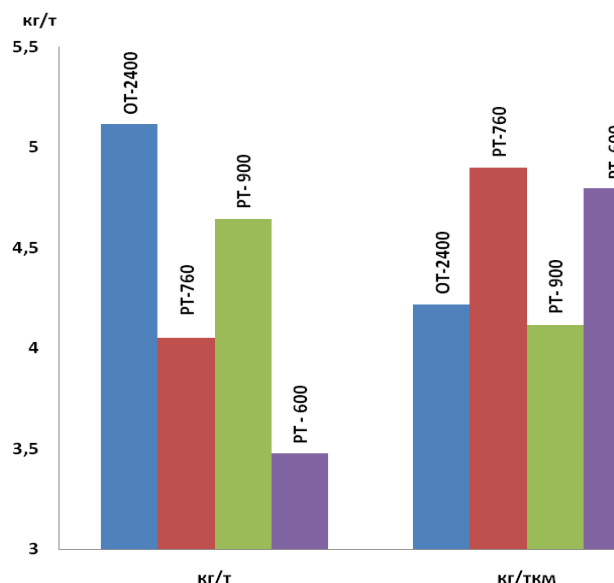


Рисунок 4 – Средние показатели за три исследуемых года расхода топлива по типам флота (на транзите)

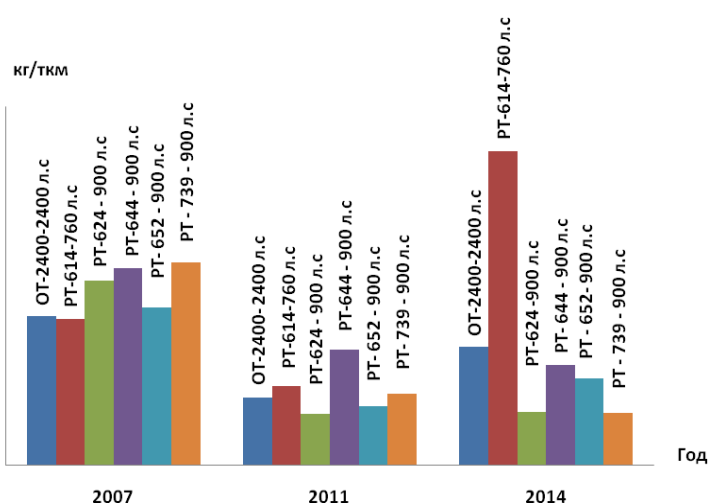


Рисунок 5 – Показатели удельного расхода топлива у РТ-900 л.с. по годам

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

каждому теплоходу отдельно (рисунок 4). Кроме того, рассчитаны и средние величины по типам флота. Диаграммы для трех типов флота (рисунок 4 и 5). построены на основании данных из таблицы 5.

Таблица 5 – Показатели перевозок и работы флота в межсезонный период навигации по годам

Тип флота	Год	Расход топлива, т	Мощность, л.с.	Период работы, сут.	Масса перевозок, тыс.т	Грузооборот, млн. ткм	Средняя дальность перевозки, км	Расход топлива	
								кг/т	кг/1000 ткм
ОТ-2405	2007	886,303	2400	197	169,3	190,0	1123	5,235	4,665
	2011	740,138		203	157,3	197,2	1254	4,705	3,753
	2014	426,600		131	72,5	98,7	1361	5,884	4,322
Среднее:				–			1218	5,144	4,225
Сумма:		2053,041		531	399,1	485,9		–	
РТ-624	2007	397,630	900	170	82,5	78,6	953	4,820	5,057
	2011	314,312		202	78,2	88,0	1125	4,019	3,572
	2014	311,600		199	66,3	86,7	1310	4,700	3,594
Среднее:				–			1116	4,509	4,040
Сумма:		1023,542		571	227,0	253,3		–	
РТ-644	2007	362,004	900	194	68,8	69,6	1013	5,262	5,198
	2011	338,445		207	74,3	79,0	1063	4,555	4,284
	2014	270,700		200	56,1	65,8	1173	4,825	4,114
Среднее:				–			1077	4,875	4,529
Сумма:		971,149		601	199,2	214,4		–	
РТ-652	2007	308,950	900	167	71,9	64,9	903	4,297	4,760
	2011	318,384		201	65,5	87,0	1328	4,861	3,660
	2014	294,900		195	57,1	74,4	1303	5,165	3,964
Среднее:				–			1163	4,742	4,075
Сумма:		922,234		563	194,5	226,3		–	
РТ-739	2007	345,950	900	187	70,9	65,7	927	4,879	5,266
	2011	320,322		197	75,0	84,3	1124	4,271	3,800
	2014	325,400		202	74,8	90,8	1214	4,350	3,584
Среднее:				–			1091	4,493	4,118
Сумма:		991,672		586	220,7	240,8		–	
Итого сред.:							1111	4,645	4,181
Итого:		3908,597		2321	841,4	934,9			
РТ-614	2007	278,421	760	177	103,7	60,1	579	2,685	4,632
	2011	232,290		174	54,1	59,8	1105	4,294	3,884
	2014	261,400		211	32,8	37,4	1140	7,970	6,989
Среднее:				–			825	4,051	4,908
Сумма:		772,111		562	190,6	157,3		–	
РТ-633	2007	237,980	600	163	65,5	60,9	930	3,633	3,906
	2011	235,800		180	51	55,9	1096	4,624	4,218
	2014	202,270		179	40,4	36,6	906	5,007	5,527
Среднее:				–			978	4,309	4,406
Сумма:		676,050		522	156,9	153,4		–	
РТ-634	2007	246,753	600	171	90,6	54,9	606	2,724	4,499
	2011	217,360		176	60,1	61,9	1030	3,617	3,511
	2014	271,010		205	56,4	61,0	1082	4,805	4,443
Среднее:				–			858	3,550	4,136
Сумма:		735,123		552	207,1	177,8		–	
РТ-661	2007	228,861	600	177	86,4	54,5	631	2,649	4,199
	2011	210,862		179	62,1	62,0	998	3,396	3,401
	2014	273,104		202	39,0	50,8	1302	7,003	5,376
Среднее:				–			892	3,802	4,261
Сумма:		712,827		558	187,5	167,3		–	
РТ-725	2007	260,870	600	190	81,2	56,9	701	3,213	4,585
	2011	206,896		193	53,0	54,6	1030	3,904	3,789
	2014	219,862		211	59,6	57,2	959	3,689	3,844
Среднее:				–			870	3,548	4,076
Сумма:		687,628		594	193,8	168,7		–	

На рисунке 5 можно заметить, что рассматриваемый удельный показатель в 2007 году сравнительно высок и «плотен» по буксирам всех типов. В 2011 и 2014 годах показатели значительно ниже, исключая РТ-614, и мало отличаются друг от друга.

Высокий показатель удельных расходов топлива в 2007 году объясняется отчасти более низкими глубинами в межлетний период, чем в 2011 и 2014 году (см. таблицу 4), то есть большим значением показателей нагрузки по пробегу как для тяги, так и для тоннажа.

Фактический удельный расход топлива рассчитывается по типам флота и изменяется в пределах:

- для ОТ-2400 л.с. .... 60-85 г/(л.с.·ч);
- для РТ-760 л.с. .... 67-88 г/(л.с.·ч);
- для РТ-900 л.с. .... 70-110 г/(л.с.·ч);
- для РТ-600 л.с. .... 70-105 г/(л.с.·ч).

Эти цифры получены как средние для теплоходов, работающих в транзит без учета соотношения времени хода и стоянки за время кругового рейса. Средняя дальность перевозки (таблица 3 и 5) на транзитных перевозках в ТСК в пределах 1000-1100 км. Это соответствует расстоянию от Томска до Нижневартовска. В Отчетах по эксплуатационной работе имеются расчеты времени кругового рейса, в частности Томск-Нижневартовск. Время кругового рейса ≈12,5-13,0 суток, в том числе стоянок в конечных пунктах ≈2,4-4,0 суток. Соотношение стояночного и ходового времени  $t_{cm}/t_{кр}$  и  $t_x/t_{кр}$  составит 23-25 и 75-77, соответственно.

Принимая во внимание, что во время стоянки расход топлива не превышает 5-7% от расхода топлива на ходу можно рассчитать среднее фактическое потребление топлива за время хода с груженым и порожним составом.

Время кругового рейса

$$t_{кр} = \sum t_{cm} + \sum t_x, \text{ сут.}$$

Расход топлива за время кругового рейса

$$g_{кр} = g_{сум} t_{кр}, \text{ Т.}$$

Расход топлива на стоянке

$$g_{cm} = 0,05g_{кр}, \text{ Т.}$$

Расход топлива на ходу

$$g_x = g_{кр} - g_{cm}, \text{ Т.}$$

Расход топлива на ходу

$$g'_x = \frac{g_x \cdot 10^{-6}}{24N_e \sum t_x}, \text{ г/(л.с.·ч).}$$

Например, для теплоходов РТ-900 л.с. расход топлива на ходу равен

$$g'_x = \frac{g_x \cdot 10^{-6}}{24N_e \sum t_x} = \frac{14,8}{10 \cdot 24 \cdot 10^6 \cdot 600} = 102 \text{ г/(л.с.·ч).}$$

На этих буксирах-толкачах стоят двигатели марки 6NVD26-A3 средний расход топлива, у которых согласно [3] 170 г/(л.с.·ч) при номинальных оборотах двигателя. Отсюда следует, что в Томской судоходной компании определили рациональную техническую скорость хода с грузом, а так как все грузовые потоки направлены вниз по течению, то значит, определили рациональные обороты двигателя при движении вниз с учетом скорости течения и управляемости состава. Это позволило сократить расход топлива на 25-35%, по сравнению с паспортными характеристиками.

Анализ вышеуказанных удельных показателей в данной статье является неполным, так как выполнен по случайно выделенным годам, и требует более детального рассмотрения, но и полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1 Расход топлива на единицу продукции при прочих равных условиях (по годам, по периодам навигации, по регистровой мощности) у буксиров-толкачей отличается на 5-10%;

2 Удельный расход топлива на единицу грузооборота зависит от средней дальности перевозок – уменьшается с увеличением  $\bar{l}_e$ , и увеличивается с уменьшением  $\bar{l}_e$ , но незначительно;

3 Удельные показатели расхода топлива напрямую зависят от габаритов судового хода, в частности, от глубины;

4 Фактический расход топлива по данным ТСК на 25-30% меньше чем паспортные характеристики двигателей.

Авторы считают, что расчет расхода топлива на единицу продукции (грузооборот) наиболее объективным показателем и рекомендуют рассчитывать его в отчетах АО «ТСК».

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Захаров, В.П.. Организация работы речного флота / В.П. Захаров, В.П. Зачесов, А.Г. Малышкин. - М: Транспорт, 1994. -286 с.

2 Шестаков, Ю.И. Справочные материалы по техно-эксплуатационным характеристикам, нормам и нормативам основных элементов речного транспорта / Ю.И. Шестаков, В.И. Резинкин. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2002. -97 с.

3 Беленовский, П.Н. Руководство по теплотехническому контролю серийных теплоходов / П.Н. Беленовский. -М.: Транспорт, 1980. -447 с.

**REFERENCES**

1 Zakharov V.P., Zachesov V.P., Malyshkin A.G. Operation management of river merchant fleet [*Organizatsiya raboty rechnogo flota*]. Moscow: Transport Publ. 1994. 286 p.

2 Shestakov Yu.I., Rezinkin V.I., Reference on performance and operational characteristics, norms and standards of the main elements of river transport [*Spravochnye materialy po tekhnо-ekspluatatsionnym kharakteristikam, normam i normativam osnovnykh elementov rechnogo transporta*]. Novosibirsk: Novosibirsk st. acad. water transp. Publ. 2002. 97 p.

3 Belenovskiy, P.N. Manual for thermal monitoring of mass produced ship [*Rukovodstvo po teplotekhnicheskому kontrolyu seriynykh teplokhodov*]. Moscow: Transport Publ. 1979. 424 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *удельные расходы на топливо, транспортный флот*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Шестаков Юрий Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
Колодяжная Ольга Викторовна, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
Носенко Екатерина Анваровна, студент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

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

---

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИНЕРГЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА**

**ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»**

**А.Э. Аухадеев, В.М. Бутаков, П.П. Павлов, О.А. Филина**

**IDENTIFICATION OF SYNERGETIC MODEL OF URBAN ELECTRIC TRANSPORT**

Kazan State Power Engineering University (KSPEU) 51, Krasnoselskaya St., Kazan, 420066, Russia

**Aver E. Aukhadееv** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of KSPEU)

**Valeriy M. Butakov** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of KSPEU)

**Pavel P. Pavlov** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of KSPEU)

**O'l'ga A. Filina** (Senior Lecturer of KSPEU)

---

**ABSTRACT:** This paper consider the problem of searching for a model of the urban electric transport system, allowing adequately reflect the most complex processes of interaction both within system itself with surrounding systems of a different nature from a perspective of a synergetic model.

**Keywords:** *urban electric transport, model identification, synergetic paradigm, complex system*

Рассматривается вопрос поиска модели системы городского электрического транспорта, позволяющей адекватно отображать реальные сложнейшие процессы взаимодействия как внутри самой системы так с окружающими системами различной природы с позиций синергетической методологии.

Мировая наука последних десятилетий двадцатого столетия обогатилась знаниями о явлениях действительности как о сложноорганизованных системах. Такой взгляд на мир, рожденный усилиями ряда выдающихся ученых нового времени, отражен в понятии «Синергетика», которое разработал и сформулировал как новую научную парадигму немецкий математик Герман Хакен [1]. Синергетический подход предполагает полное и целостное описание не только всей сложности системы, но и всех механизмов её становления, организации и развития. Попытка интерпретировать все эти методологические основания с позиций реально существующей организации системы городского электрического транспорта (ГЭТ) и её ресурсов должно послужить рождению продуктивного эвристического воображения, необходимого для поиска реальных инновационных решений проблемы управления ее развитием.

Город, его производственные и непроизводственные технологии, в составе которых система ГЭТ занимает центральное место и имеет для многих городских технологий объединяющее, коммуникационное значение, является одним из самых проблемных объектов синергетического теоретического исследования и практики в современных условиях растущей урбанизации общественной жизни. В отечественной научной литературе [2, 3] делаются попытки описания того, как ГЭТ, находящийся в центре общих городских технологий, может быть описан и осмыслен в терминах открытых сложноорганизованных систем и синергетики, и какие проблемы теоретического и практического характера можно решать на этом пути с позиций задач инновационного, позитивного развития городских транспортных систем. По

мнению авторов существует необходимость рассмотреть свойства системы ГЭТ в их единстве и взаимообусловленности. Наиболее актуальным с позиций системной синергетической методологии представляется определение в терминах синергетики следующих свойств системы ГЭТ (рисунок 1).

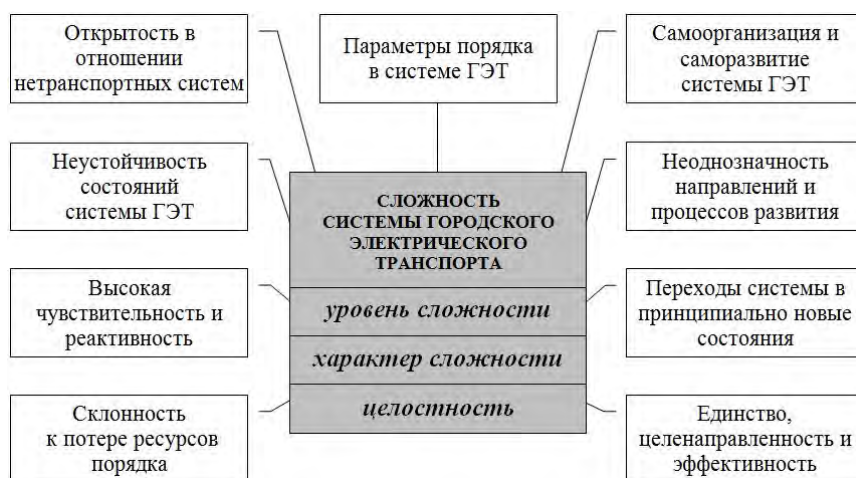
**1 Сложность организации системы ГЭТ.** Это одно из самых главных свойств системы, определяющих все остальные её качества и проявления порядка. Сложность имеет ряд необходимых характеристик, таких как уровень сложности, характер сложности и целостность [1].

Система ГЭТ сложна наличием и количеством различных видов электроподвижного состава, путей сообщения, источников и способов энергообеспечения, объектов производства и ремонта транспорта и путей и т.п. Она сложна не только своим техническим, технологическим содержанием, но и своей сложной социальной инфраструктурой, обеспечивающей функции транспортной системы, включая человеческий, кадровый, профессиональный, образовательный фактор.

**2 Открытость сложноорганизованных систем.** Это свойство систем, определяющее их зависимость от внешних ресурсов, и способность воспринимать эти ресурсы в интересах возникновения и развития своих внутренних качеств и их проявлений. Транспортная система города открыта для взаимоотношений с другими технологическими системами города. Более того, она играет роль, связывающую все технологии города в единую технологическую систему. Взаимоотношения транспортной системы с другими технологиями города как источником инновационного развития является центральной проблемой технологического развития города в целом

**3 Параметр порядка в системе.** Это критерий, по которому возникает и проявляется порядок – формируется организация – система с определенными, соответствующими этому критерию, свойствами. Кроме того, параметр порядка или регулирования – это внешнее условие и внутренний фактор появления и последующего самостоятельного развития сложноорганизованной системы. Для транспортной системы города параметром порядка являются различные виды позитивных эффектов, оказываемых на жизнь города, например, на «удобство для жизни» [4]. Поиск оптимальных параметров порядка в социально-технической транспортной системе является актуальной задачей технологического развития современных городов в целом на всех этапах этого процесса.

**4 Самоорганизация и саморазвитие.** Это формирование из вдруг возникших, в соответствии с первоначальным параметром порядка, отношений частей системы в пространственно-временную организацию, отвечающую этому параметру, с последующим усложнением организации, установлением новых свойств порядка в новых его параметрах. Это происходит благодаря появлению в системе внутренних, присущих именно ей, механизмов и ресурсов развития и, конечно, благодаря её открытости к восприятию ресурсов внешних и обмену с ними. На основе принципов саморазвития транспорт, транспортная система, развивается в направлении совершенствования, а значит позитивного развития, благодаря средствам, присущим ей самой – внутренним механизмам, отличающимся от других технологических систем. При всей открытости в сторону окружающей технологической среды и значительной зависимости от неё, механизмы и процессы саморазвития транспортной системы активны, во многом самостоятельны и независимы от внешних влияний.. Проблема анализа процессов самоорганизации и саморазвития транспортной системы города состоит в познании специфики внутренних механизмов развития и определении параметров порядка, по которым развитие должно происходить. Результат саморазвития (позитивный или негативный)



*Рисунок – Основные свойства системы ГЭТ, в центре которых находятся свойства сложности*

зависит от ряда других решающих свойств транспортной сложноорганизованной системы.

**5 Неустойчивость состояний сложноорганизованной системы.** Относительно сложноорганизованных систем, обладающих свойствами открытости, самоорганизации и саморазвития неустойчивость определяется терминами: «неравновесность», «неравновесные состояния», которые понимаются и как позитивные свойства систем, обеспечивающие им необходимую изменчивость, способность легко приспособиться к меняющимся условиям существования и развития. Транспортные системы, чем более сложны по своему составу, характеру и цельности, тем они более неравновесные. Такое состояние может иметь различные проявления, суть которых требует определения и конкретизации.

**6 Неоднозначность направлений и процессов развития.** Это возможность разных линий, направлений развития системы в её данном неравновесном состоянии. Линии развития транспортной системы города могут быть разными благодаря изменениям характеристик её внутренней сложности, связанной с изменениями масштабов города, его производственных и непроизводственных технологий, социально-экономических задач и процессов и других характеристик. В любом случае развитие должно идти по позитивной линии в его общественно-гуманитарном значении. Это выражается в проблеме поиска механизмов обеспечения в некотором роде «устойчивости в неустойчивости» – обеспечения устойчивого позитивного развития города и его технологий в целом, учитывающего неравновесные свойства его технологий как сложноорганизованных открытых систем.

**7 Высокая чувствительность и реактивность.** Это свойство системы, имеющей сложную организацию, реагировать на самые малые влияния со стороны внешней среды и на самые малые изменения среды внутренней, вместе с тем, это способность дать большие реакции на эти малые внешние или внутренние изменения. Городская транспортная техническая, технологическая система в связи с её материальной «громоздкостью» и организационной сложностью может восприниматься как образование достаточно инертное – чувствительное лишь к сильным воздействиям со стороны общих факторов социальной жизни города, его общей технологической основы, и не способное к быстрому и целостному реагированию на эти воздействия. Однако методологический подход подсказывает, что определенный уровень и определенные характеристики сложности транспортной системы города, обеспечивают ей высокую чувствительность и реактивность на самые малые внешние воздействия и изменения внутренних процессов, не говоря уже о воздействиях больших и сильных. Одним из условий исследования этой проблемы является обращение к свойствам системы, определяющим единство и целенаправленность её реагирования на внешние воздействия.

**8 Единство, целенаправленность и эффективность реагирования.** Это особое свойство, связанное с наличием в системе механизмов согласованности, на техническом языке – *когерентности* её частей в их пространственно-временных отношениях и действиях. Согласованность – когерентность частей транспортной системы, входящих в её сложную организацию одна из самых реальных, практических проблем инновационного, позитивного развития городского транспорта. Самое важное в этой проблеме – теоретический поиск, определение и практическое воплощение такой когерентности. Система когерентная во взаимоотношениях её частей, многократно более эффективная, нежели не когерентная. Когерентность дает неожиданные, эмерджентные результаты.

**9 Склонность к потере ресурсов порядка.** Это свойство системы, связанное с её внутренней сложностью и открытостью в сторону внешнего хаоса. На языке физики сложноорганизованная система «диссипативна», то есть, склонна к рассеиванию, потере своих ресурсов – «энергии, вещества и информации» при взаимодействии с другими системами. Тем самым она теряет уровень и характер своей организации – ресурсы своего порядка. Для инновационного развития городской транспортной системы это благоприятное условие. Это замена устаревших ресурсов на новые – в технике, технологии и в организации системы. Такой методологический подход требует теоретического и практического определения критериев диссипации, его характеристик позитивных или негативных.

**10 Переходы системы в принципиально новые состояния.** Это процессы перехода системы в состояния, радикально отличающиеся внутренней организацией, свойствами и внешними их проявлениями, происходящие под воздействием различных факторов. В современной научной методологии они именуется «фазовыми» состояниями физических и химических материальных объектов. На этой методологической основе необходимо практическое, реальное определение вариантов фазовых состояний транспортных систем городов с различными технологическими характеристиками и тенденциями развития [2, 5].



Идентификация модели открытой сложноорганизованной технической системы городского электрического транспорта с позиций системной синергетической методологии представляет собой непростую, хотя и достаточно ясную теоретико-методологическую задачу. Одной из существенных сторон такой модели должна является очевидность организации процедуры исследования, её последовательности в постановке теоретических и реально существующих практических задач. Модель должна быть достаточно простой, но не проще возможного, чтобы не редуцировать синергетическую сущность и сложность реально существующей системы городского электрического транспорта [6]. Что касается практических подходов к её решению, то они требуют поиска своих специальных методологических подходов и использования современных достижений информационно-аналитических технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Хакен, Г. Синергетика: Пер. с англ. / Общ. ред. Ю.Л. Климонтовича и С.М. Осовца. -М.: Мир, 1980. -423 с.
- 2 Горев, А.Э. Основы теории транспортных систем: учеб. пособ. / А.Э. Горев. -СПб.: Изд-во С.-Петерб. Гос. Архит.-Строит. Унив., 2010. -214 с.
- 3 Ембулаев, В.Н. Теоретические основы и методы управления транспортной системой крупного города: монография / Ембулаев В.Н. -Владивосток: Дальнаука, 2004. - 212 с.
- 4 Вукан Р. Вучик. Транспорт в городах, удобных для жизни: пер. с англ. / Под науч. ред. М. Бликина. -М.: Территория будущего 2011, -576 с.
- 5 Агеева, Е.Ю. Город как социокультурное образование: Функционально-типологический анализ: дис. ... д-ра философ. наук: 24.00.01: защищена 14.12.05: утв. 16.06.06 / Агеева Елена Юрьевна. -Н. Новгород, 2005. -355 с.
- 6 Аухадеев, А.Э. Саморазвитие транспортной системы современного города: поиск инновационной модели интеллектуального управления / А.Э. Аухадеев. -М.: ВИНТИ, 2014. -220 с.

REFERENCES

- 1 H. Haken: *Synergetik*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1982, ISBN 3-8017-1686-4.
- 2 Gorev A.E., *Fundamentals of transport systems theory [Osnovy teorii transportnykh system]*. St. Petersburg: St. Petersburg St. Univ. of Architecture and Civil Engineering Publ. 2010. 214 p.
- 3 Embulaev V.N., *Theoretical foundations and methods of managing the transport system of a large city: article thesis [Teoreticheskie osnovy i metody upravleniya transportnoy sistemoy krupnogo goroda]*. Vladivostok: Dal'nauka Publ. 2004. 212 p.
- 4 Vukan R. Vuchic. *Transportation for Livable Cities*. CUPR/Transaction, 1999. -P. 376. -ISBN 978-0882851617.
- 5 Ageeva E.Yu., *City as a socio-cultural entity. Functional-typological analysis [Gorod kak sotsiokul'turnoe obrazovanie: Funktsional'no-tipologicheskii analiz]*. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod St. Univ. of Architect. and Civil Engineering Publ. 2005. 355 p.
- 6 Aukhadeev A.E., *Self-development of the transport system of the modern city: search for an innovative model of intellectual management [Samorazvitie transportnoy sistemy sovremennogo goroda: poisk innovatsionnoy modeli intellektual'nogo upravleniya]*. Moscow: All-Russian Inst. of Scientific and Techn. Inform. Publ. 2014. 220 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

*городской электрический транспорт, идентификация модели, синергетическое мировоззрение, сложноорганизованная система*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

*Аухадеев Авер Эрикович, канд. техн. наук, доцент КГЭУ  
Бутаков Валерий Михайлович, канд. техн. наук, доцент КГЭУ  
Павлов Павел Павлович, канд. техн. наук, доцент КГЭУ  
Филина Ольга Алексеевна, старший преподаватель, КГЭУ  
420066, г.Казань, ул.Красносельская, 51, КГЭУ*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:**

**РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ДОСТИЖЕНИЙ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ**

**ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»**

**П.П. Павлов, А.Э. Аухадеев, Л.Н. Киснеева, Ю.А. Рылов**

**DEVELOPMENT OF THE THEORY OF TRANSPORT SYSTEMS BASED ON METHODOLOGICAL ACHIEVEMENTS OF MODERN SCIENCE**

**Kazan State Power Engineering University (KSPEU) 51, Krasnoselskaya St., Kazan, 420066, Russia**  
**Pavel P. Pavlov** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of KSPEU)  
**Aver E. Aukhadeev** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of KSPEU)  
**Lyaylya N. Kisneeveva** (Senior Lecturer of KSPEU)  
**Yuriy A. Rylov** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of KSPEU)

**ABSTRACT:** The approach to the description of transport systems from the standpoint of the modern evolutionary genetic methodology by the example of urban transport is considered.

**Keywords:** *theory of transport systems, evolutionary-genetic paradigm, complex system, urban transport*

Рассмотрен подход к описанию транспортных систем с позиций современной эволюционно-генетической методологии на примере городского транспорта.

Методологически обоснованное с позиций современных достижений науки описание транспорта является непременным условием вхождения в проблему управления развитием этой открытой для взаимодействия с другими, нетранспортными, системами особой самоорганизующейся и саморазвивающейся сложной «социально-технической» системы, вклю-

чающей в себя помимо собственно техники, ещё и гуманитарные, социальные инструменты и условия, которые организуют её как систему и обеспечивают её развитие.

Последние десятилетия XX и начало XXI столетия ознаменованы новыми представлениями о явлениях природы и культуры, имеющими методологическое – общенаучное, мировоззренческое значение, определяемыми мировой научной общественностью как «единство естественнонаучной и гуманитарной культур общества» [1], способствующими углублению интеграции различных отраслей науки.

Эволюционные и генетические понятия, термины, принадлежащие многие столетия биологическим наукам, в начале нынешнего, XXI-го, века вошли в методологический арсенал других наук, выражая подобие механизмов происхождения и развития биологических сложноорганизованных систем и «организмов» другой, не биологической, природы.

Современная наука глубоко обосновывает этот подход и на теоретическом, и на эмпирическом уровне, исследуя реальные процессы развития небиологических сложноорганизованных систем [2, 3]. Транспортные системы городов специально на этой методологической основе еще не рассматривались. Одним из направлений углубленного обоснования для применения эволюционной и генетической методологии в использовании социальных систем являются представления о развитии локальных и мировых цивилизации, как одной из самых сложно организованных культурологических систем. Для того чтобы подчеркнуть методологическую значимость этого подхода, он назван его авторами «наукой XXI-го века» [4]. В нём сформулировано понятие «социоэкономической генетики», как новой методологической концепции исследования и решения проблем социальных, экономических и глубоко связанных с ними технологических проблем с использованием биологических понятий. Рассмотрение проблем транспортной системы городов в аспекте развития цивилизации в условиях стремительной урбанизации общественной жизни представляется весьма плодотворным, поскольку именно техническому, технологическому прогрессу отводится ведущая роль в общественном развитии.

В построении модели исследования и решения проблем управления развитием городской транспортной системы эвристическую ценность могут иметь ассоциации и интерпретации понятий биологической, социологической эволюционной и генетической методологии, широко использованные в концепции социоэкономической генетики (таблица).

*Таблица – Дидактическая схема структуры основных понятий концепции социально-экономической генетики*

Базовые понятия эволюционно-генетического синергетического мировоззрения	Основные элементы, входящие в состав базовых понятий эволюционно-генетического синергетического мировоззрения
Глобальный эволюционизм	– коэволюция систем; – естественный отбор; – происхождение видов; – устойчивость (наследственность); – изменчивость
Генетическое ядро	– аттрактор – причина образования ядра; – параметр порядка – характеристика системы
Центр Генетического ядра	– человеческий фактор; – интеллектуальный потенциал
Периферия генетического ядра – «набор хромосом»	– политика и программы развития; – база производства и воспроизводства; – экономическая база; – кадровое обеспечение; – бизнес и предпринимательство; – социальная инфраструктура; – службы управления; – природные условия; – культурные традиции и др.

«Глобальный эволюционизм». Это методологически принципиально обновленное понятие современной науки [1, 3]. Оно определяется как связь всех явлений действительности, всех уровней сложности и отношений в едином эволюционном потоке на основе предполагаемых определенных механизмах. Внутри понятия глобального эволюционизма лежит понятие «коэволюции», определяемое как совместная эволюция систем, находящихся в отно-

шениях необходимого тесного взаимодействия. В коэволюции отношения между системами могут привести к разным результатам для всех их вместе или в отдельности: обрести новые ресурсы для позитивного развития или потерять их. Это зависит от уровня и характеристик внутренней сложности и цельности каждой из систем, находящихся во взаимодействии, это зависит также от внешних условий, создаваемых уровнем хаоса или порядка – организованности всех систем находящихся в коэволюции.

Глобальный эволюционный процесс представляет собой механизм, в котором происходит, говоря биологическим языком – «*естественный отбор*», «*происхождение видов*» новых, способных сохранять и развивать свою организацию и свойства. Это, снова прибегая к биологической терминологии, связано со свойствами «*наследственности и изменчивости*» органических систем, то есть со свойствами «*генетическими*», но теперь уже в более широком, не только биологическом, смысле.

Применительно к городской транспортной системе интерпретация глобального эволюционизма предполагает описание коэволюции всех её составляющих внутри её самой и коэволюции их со всеми технологиями города: социальными, экономическими производственными и непроизводственными.

«*Генетическое ядро*». Это – центр, непереносимое условие спонтанного возникновения, формирования и развития сложноорганизованной системы. Он образуется под влиянием случайно возникающего внешнего условия для спонтанной организации систем в хаосе различных форм движений, отношений структур, еще не организованных как единая и целостная система, но вдруг приобретающая внутренние свойства самоорганизации и саморазвития. Таковым условием в естественных науках (физике, химии) названо возникновение «*аттрактора*» (притягивающего фактора, латинское слово *attraho* – притягиваю к себе) и обусловленных им «*параметров порядка*», то есть характеристик организации системы и направлений её развития [2, 5].

Интерпретация этих представлений применительно к проблемам развития транспортной системы города имеет реальную почву. Тот или иной тип, в терминах биологии – «*вид*» организации транспортной системы может и должен быть устойчивым в своих особенностях и позитивных тенденциях развития. Он должен также изменяться, приспосабливаться к новым условиям развития глобальной технологической системы города, «*выживать*» в его противоречиях. Требуется эмпирически найти и определить – что является реально действующим аттрактором, параметром порядка и генетическим ядром возникновения, самоорганизации и саморазвития отдельных видов транспорта и транспортной системы. Вероятно, это – осмысленные обществом требования и сформулированные законы, по которым транспортная система должна развиваться в позитивном направлении. Это проблема разумного управления развитием транспорта.

*Центр генетического ядра* саморазвития городской транспортной системы представляет собой интеллектуальный потенциал, человеческий фактор развития транспортной системы, в лице представителей научного и технического творчества, сконцентрированный в специальных научно-исследовательских, опытно-конструкторских учреждениях. Его функция – научное обоснование и поиск прогрессивных путей развития транспортной системы города в потоке общего социально-экономического развития. Для центра ядра важно иметь необходимую для инновационного развития транспортной системы города тематическую структуру научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок, соответствующую ей материально-техническую базу и необходимый состав специалистов.

*Периферия генетического ядра* - по биологической терминологии «*набор хромосом*» саморазвития городской транспортной системы, прочно связанных с центром ядра. Это образования, создающие условия, через которые реализуются функции центра, осуществляющие его влияние на всю организацию транспортной системы, и через которые транспортная система в целом обменивается ресурсами с окружающей её городской технологической средой. Это элементы генетического ядра, которые по отдельности сами по себе по представлениям синергетики являются довольно сложно организованными и саморазвивающимися системами. Периферия принципиально должна быть выделена из общего системного представления транспортной системы, как принадлежащая к генетическому ядру, и описана в достаточной цельности, необходимой для осуществления именно генетической задачи: функцию сохранения свойств, тенденций и функцию приспособительной изменчивости, а не всё разнообразие конкретных функций городского транспорта, в том числе и управления.

В качестве рабочей гипотезы структура периферии генетического ядра, «набор хромосом», определяющих генетические основы развития транспортной системы города, может иметь следующий состав.

1) *Политика, программы развития.* Это административные службы, определяющие политику позитивного инновационного развития транспортной системы: законодательство, инструкции и стандарты, которые регулируют планирование, проектирование, развитие транспортной системы города. Одной из задач этих служб является формирование и организация исполнения утвержденных в законодательном порядке долгосрочных государственных программ инновационного развития транспортной системы города.

2) *База производства и воспроизводства.* Это промышленные объекты изготовления транспортной техники и технологий, их обслуживания и ремонта. Её основная задача – обеспечить тенденции позитивного инновационного развития транспортной системы в целом, она должна осуществлять инновационную деятельность и обладать для этого определенной суммой материально-технических средств, имеющих необходимый технологический уровень.

3) *Экономическая база.* Это экономическая политика и условия: законодательство, инструкции и стандарты, которые регулируют развитие транспортной системы, например – экономическая доктрина, принятая и реализуемая правительством. Это финансовые и другие капитальные и подвижные ресурсы, службы, обеспечивающие эффективное использование экономических ресурсов в интересах позитивного инновационного развития транспортной системы города.

4) *Кадровое обеспечение.* Это учебно-образовательные службы, обеспечивающие подготовку специалистов для транспортной системы, на разных уровнях её организации. Это образовательные программы, обеспечивающие в подготовке специалистов их инновационную компетентность в сфере транспортной системы города.

5) *Бизнес и предпринимательство.* Это сфера общественной практики, связанная с частной прибылью, поэтому весьма эффективная. Она включает различные формы бизнеса и предпринимательства, основанные на разработке и внедрении в транспортную систему города научно-технических инноваций.

6) *Социальная инфраструктура.* Это службы, формирующие политику, разрабатывающие и реализующие программы удовлетворения качества жизни популяции общества, занятой в сфере городского транспорта.

7) *Службы управления.* Это специальные транспортные административные службы, осуществляющие оперативное управление функционированием и развитием транспортной системы города в целом и владеющие методами управления процессами внедрения в неё инновационных технологий.

8) *Природные условия.* Это в известном смысле «костная» внешняя среда, климатические и ландшафтные факторы – условия, жестко определяющие ряд технологических характеристик транспортной системы города, влияющие на инновационные решения.

9) *Культурные традиции.* Это направления развития транспортной системы, связанные с исторически сложившимися национально-культурными особенностями города в целом. Они являются одним из важнейших факторов влияния общественного мнения на выбор путей развития транспортной системы города и на характеристики её организации.

Выше были изложены общие представления об эволюционно-генетическом методологическом подходе к транспортной системе города. Вместе с тем, требуется детализировать этот подход как технологический инструмент практического применения. В этом отношении стоят три эмпирические и теоретические задачи [6].

*Первой задачей* является детальное эмпирическое исследование, теоретический анализ и описание каждой из составляющих генетического ядра саморазвития: и его центра, и его периферии. Оно состоит в определении содержания их структур, которые необходимы для решения функции генетического ядра в целом. Каждая из составляющих сама является сложной системой, имеющей своё генетическое ядро саморазвития, в той или иной мере организованное. Здесь важно, чтобы в структуре было определено только то, что действительно необходимо, и в необходимой цельности.

*Второй задачей* является по возможности более детальное эмпирическое исследование и полное теоретическое описание структур самой транспортной системы города в целом, как сложноорганизованной системы, которая развивается под влиянием генетического ядра его саморазвития. Здесь важна попытка, стремление дать описание генетических ядер

и их структур, специфических для каждой составляющей транспортной системы.

*Третьей задачей* является эмпирический поиск, теоретический анализ и определение механизмов, обеспечивающих «когерентность», согласованность, в первую очередь, составляющих генетического ядра саморазвития и, вслед за этим, – составляющих всей сложной организованной системы городского транспорта. Здесь важно определение реальных технических механизмов когерентности, согласованности и цельности функционирования и развития системы, определяющих её *эмерджентные*, эффективные свойства.

Решение названных трех задач представляется очень сложным, но их постановка имеет значение как методологическая модель наиболее полного и целостного представления, и о транспортной системе, и о проблемах ее инновационного развития, и о путях их решения [6].

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Горбачев, В.В. Концепции современного естествознания / В.В. Горбачев, В.М. Безденежных. -М.: Экономист, 2004. -446 с.
- 2 Пригожин, И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой: Пер. с англ. / Под общ. ред. В.И. Аршинова, Ю.Л. Климонтовича и Ю.В. Сагнова. -М.: Прогресс, 1986. -432 с.
- 3 Князева, Е.Н. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. / Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов. -М.: Наука, 1994. -240 с.
- 4 Кузык, Б.Н. Цивилизация: теории, история, диалог, будущее: в 2 т / Б.Н. Кузык, Ю.В. Яковец. -М.: Изд-во Ин-т. экон. стратегий, 2006. -Т.1. -768 с.
- 5 Хакен, Г. Синергетика: Пер. с англ. / Общ. ред. Ю.Л. Климонтовича и С.М. Осовца. -М.: Мир, 1980. -423 с.
- 6 Аухадеев, А.Э. Саморазвитие транспортной системы современного города: поиск инновационной модели интеллектуального управления / А.Э. Аухадеев. -М.: ВИНТИ, 2014. -220 с.

**REFERENCES**

- 1 Gorbachev V.V., Bezdenezhnykh V.M., Concepts of modern natural science [*Kontseptsii sovremennogo estestvoznaniya*]. Moscow: Ekonomist Publ. 2004. 446 p.
- 2 Ilya Prigogine, Isabelle Stengers, *Order out of chaos: Man's new dialogue with nature*. Heinemann. London. 1984.
- 3 Knyazeva E.N., Kurdyumov S.P., Evolution and self-organization laws in complex systems [*Zakony evolyutsii i samoorganizatsii slozhnykh system*]. Moscow: Nauka Publ. 1994. 240 p.
- 4 Kuzyk B.N., Yakovets Yu.V., Civilization: Theory, History, Dialogue and the future [*Tsivilizatsiya: teorii, istoriya, dialog, budushchee*]. Moscow: Institut ekonomicheskikh strategiy Publ. 2006. Vol. 1. 768 p.
- 5 H. Haken: *Synergetik*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1982, ISBN 3-8017-1686-4.
- 6 Aukhadееv A.E., Self-development of the transport system of the modern city: search for an innovative model of intellectual management [*Samorazvitie transportnoy sistemy sovremennogo goroda: poisk innovatsionnoy modeli intellektual'nogo upravleniya*]. Moscow: All-Russian Inst. of Scientific and Techn. Inform. Publ. 2014. 220 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *теория транспортных систем, эволюционно-генетическая парадигма, сложноорганизованная система, городской транспорт*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Павлов Павел Павлович, канд. техн. наук, доцент КГЭУ  
Аухадеев Авер Эрикович, канд. техн. наук, доцент КГЭУ  
Киснеева Ляйля Нургалеевна, старший преподаватель КГЭУ  
Рылов Юрий Анатольевич, канд. техн. наук, доцент КГЭУ*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *420066, г.Казань, ул.Красносельская, 51, КГЭУ*

---

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА ГОРОДА**

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

**А.Е. Проказов, В.В. Бирюков**

**PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF THE URBAN RAIL TRANSPORT**

Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia

Aleksandr E. Prokazov (Master's Degree of NSTU)

Valeriy V. Biryukov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of NSTU)

---

**ABSTRACT:** The modern development trends in traction electric drives of city rail transport are considered.

**Keywords:** *city electric transport, tram, tram bogie, traction drive*

Рассмотрены современные тенденции развития тягового электропривода городского рельсового транспорта.

В последнее время в развитых странах Европы и Азии наметилась устойчивая тенденция к расширению роли общественного транспорта в крупных городах. Рост количества автомобилей, приводящий к увеличению уличных заторов и ухудшению экологической обстановки, вынудил городские администрации практически всех крупных городов Европы вновь обратиться к развитию общественного транспорта, в частности, электрического (трамвая) как наиболее экологически чистого.

Трамвай по сравнению с таким видом транспорта, как троллейбус, имеет ряд существенных преимуществ: меньший расход энергии на тягу; более простую конструкцию контактной сети, большую провозную способность [1]. Не являясь конкурентом метрополитену, он способен дополнять транспортную сеть городов, требуя на реализацию средств на порядок

меньше, чем метро.

Современные трамваи должны соответствовать ряду весьма жестких требований, которые были выработаны ещё в 1994 году на конференции 2nd UIPT Conference, состоявшейся в Амстердаме. Важнейшими из них являются: комфорт и безопасность проезда пассажиров, низкое энергопотребление, малый уровень шума, высокая маневренность, которая должна обеспечивать его прохождение по узким улицам старинных городов. Одним из главных требований является применение низкого уровня пола в салоне, при котором облегчаются условия посадки и высадки с детьми, а также пассажиров с ограниченными физическими возможностями (пожилых, инвалидов). Удовлетворение этого требования привело к появлению трамваев с низким уровнем пола (low-floor trams) – от 300 до 350 мм, а также трамваев с ультранизким полом (ultra low-floor trams) – 180-200 мм, на долю которого в салоне приходится от 40 до 100% площади салона.

В настоящее время за рубежом трамвайные вагоны производятся такими корпорациями, как Siemens, Bombardier, AlstomSkoda, Vossloh, CAF, AnsaldoBreda, Koncar, Stadler и рядом других [2]. Анализ конструктивного исполнения подвижного состава показал, что независимо от компании-производителя наметились два направления в разработке трамваев:

- подвижной состав формируется путём сочленения коротких секций модульного типа длиной не более 6-9 м, что облегчает условия вписывания состава в кривые участки пути;
- тяговое и тормозное оборудование выносится из межосевого пространства тележек, что способствует понижению уровня пола.

Тяговые приводы выполняются либо индивидуальными, либо групповыми (привод на левый и правый борт) с продольной установкой тягового двигателя, что позволяет снизить износ рельсов в кривых участках пути. В трамваях семейства ULF компоновка тягового привода существенно отличается от остальных: в них применены одноосные порталные тележки, расположенные между секциями состава, а тяговые двигатели размещены вертикально с наружной части тележек. Применение порталных тележек позволило снизить уровень пола до минимальных значений в 200-210 мм. В трамваях семейства Variobahn/Variotram использовано принципиально иное решение тягового привода – безредукторное электромоторколесо в виде цилиндрического асинхронного двигателя с наружным ротором. Оно также обеспечивает независимое вращение колес и низкий уровень пола в пассажирском салоне (300-350 мм). Для повышения комфорта и увеличения полезной площади пассажирского салона, основное электрооборудование вынесено в специальные ниши под крышей вагона.

Ретроспективный анализ конструктивного исполнения ходовых частей трамваев показал, что опираясь на традиционную компоновку тягового привода (рисунок 1), можно отметить несколько этапов разработки тележек подвижного состава с низким уровнем пола:

- уменьшение габаритов двигателя за счёт повышения частоты вращения его вала (трамваи серии GT8-100 производства Bombardier Transportation 1997 г; компании Kinki Sharyo для Нью-Джерси 1997 г.);

- вынесение тяговых двигателей и редукторов за пределы межосевого пространства тележки и размещением их (рисунок 2) продольно по обеим её сторонам (трамваи производства Bombardier Transportation с тележками типа FLEXX2500);

- отказе от колесной пары и создании тележки с независимо вращающимися колесами. При этом колеса (рисунок 3) соединялись поперечной балкой прямоугольного сечения U-образной формы (тележка типа SF30 C TFW (Siemens), SIRIO (AnsaldoBreda, Италия), CITADIS (Alstom));

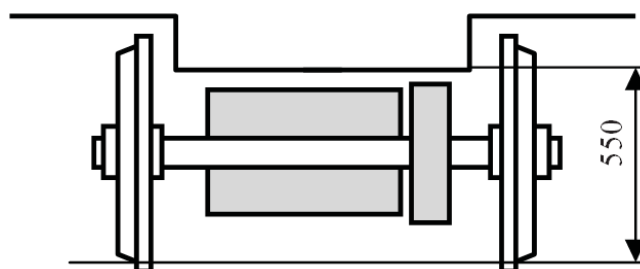


Рисунок 1 – Традиционная компоновка тягового привода

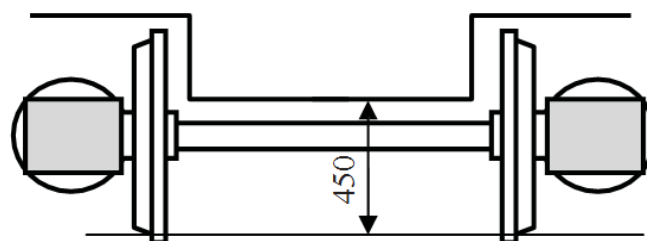


Рисунок 2 – Компоновка моторной тележки с тяговыми двигателями и редукторами, расположенными вне межосевого пространства

– применение одноосных (рисунок 4) тележек с вертикальным расположением тяговых двигателей. Тележки – неповоротные, устанавливаются под узлами сочленения.

Все рассмотренные варианты исполнения тягового привода основаны на использовании традиционных тяговых двигателей и редукторов того или иного исполнения. Поэтому не все варианты компоновки ходовых частей могут быть реализованы на подвижном составе трамвая российского производства.

В отечественной практике разработки новых трамвайных вагонов необходимо отметить создание опытного вагона с индивидуальным приводом колёс на Уральском вагоностроительном заводе. Вынос всего оборудования из межколёсного пространства позволил добиться максимального понижения уровня пола салона однокузовного вагона, используя мотор-редукторный вариант исполнения тягового привода.

Модульный принцип исполнения, при котором тяговые приводы колёс одного борта объединяются в единое целое, а формирование тележки осуществляется посредством соединения модулей между собой темя балками трубчатого сечения, позволяет добиться максимального снижения уровня пола салона. Тележка такой конструкции неповоротная, поэтому использование её возможно только на шарнирно сочленённых трамваях с длиной секции, о чём упоминалось ранее, не более 9 м.

Кроме перечисленных схемных решений ходовых частей следует упомянуть и мотор-колёсный вариант [3, 4], наибольшие перспективы применения которого на трамвае предпочтительнее при большей колее рельсового пути (рисунок 6).

Применение мотор-колёсного привода позволяет скомпоновать безрамную конструкцию тележки, обеспечивающую максимальное понижение уровня пола салона над ней.

Определённый интерес представляет шарнирно сочленённый подвижной состав с необмоторенными (холостыми) тележками, позволяющими упростить схемы силовых цепей трамвая. При этом размещение их под кузовом аналогично обмоторенным.

**Заключение.** Проведённый анализ показал, что перспективными направлениями развития и совершенствования подвижного состава трамвая является:

- разработка многосекционных шарнирно сочленённых кузовов;
- применение безрамных конструкций ходовых частей;
- использование неповоротных тележек;
- внедрение индивидуального (на каждое колесо), либо группового (на колёса одного борта) привода;

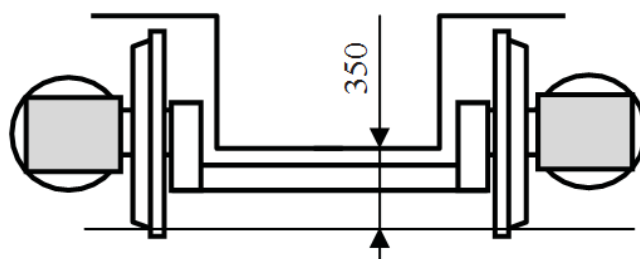


Рисунок 3 – Компоновка тягового привода подвижного состава с независимо вращающимися колёсами

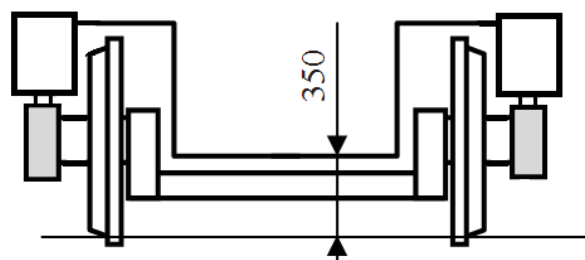


Рисунок 4 – Компоновка тягового привода портальной тележки

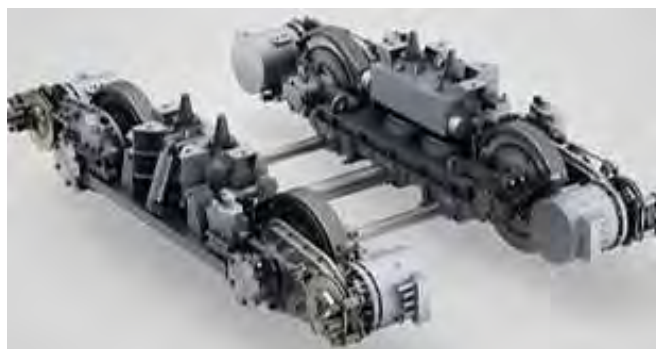


Рисунок 5 – Тележка Уральского вагоностроительного завода



Рисунок 6 – Мотор-колесо трамвайного вагона



– возможность реализации комбинированных (обмоторенных и не обмоторенных) вариантов ходовых безредукторных частей.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ****REFERENCES**

1 Čapek, J. Jan. Optimal design of low-floor tram / J. Jan Čapek, Josef Kolář // From horse-drawn railway to high-speed transportation system: Conference, Prague, April 17–19, 2007. -Prague, Czech Republic -PP. 27-30.

2 Нондиус, Н. Мировой рынок подвижного состава облегченного рельсового транспорта / Н. Нондиус // -Журнал Железные дороги мира. - 2005. -№8. -С. 34-49.

3 Неудорфер, Н. Ступичный асинхронный тяговый двигатель с внешним ротором / Н. Неудорфер // -Железные дороги мира. -2002. -№4. -С. 29-31.

4 Бирюков, В.В. Тяговый электрический привод: учеб. пособие для вузов / В.В. Бирюков, Е.Г. Порсев. -2-е изд., испр. и доп. -М.: Юрайт, 2017. - 315 с.

1 J. Jan Capek and Josef Kolar, Optimal design of low-floor tram: *From horse-drawn railway to high-speed transportation system* / (Conference, Prague, April 17-19, 2007). Prague, Czech Republic. pp. 27-30.

2 Н. Hondius. *Metro Report*, 2004, pp. 53-61.

3 Н. Neudorfer, *Glaser's Annalen*. 2001. №6/7. pp. 237-242.

4 Biryukov V.V., Porsev E.G., *Traction electric motor: textbook for colleges and universities [Тяговый электрический привод]*. -Moscow: Yurayt Publ. 2017. 315 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** городской электротранспорт, трамвай, тележка трамвая, тяговый электропривод

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Проказов Александр Евгеньевич, магистрант НГТУ  
Бирюков Валерий Викторович, канд. техн. наук, доцент НГТУ

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ

---

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОРОДОВ**

**ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»**

**В.В. Бирюков, Ю.В. Панченко**

**IMPROVING THE RELIABILITY OF CITY PUBLIC TRANSPORT SERVICE**

Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia

Valeriy V. Biryukov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of NSTU)

Yuriy V. Panchenko (Master's Degree of NSTU)

---

**ABSTRACT:** Authors propose the way and scheme for realization of increasing the maneuverability of trolleybus on city routes.

**Keywords:** trolleybus, extra power source, convertor, connection scheme, traction drive

---

Предложен вариант и схемное решение проблемы повышения маневренности троллейбусов на городских магистралях.

Одним из показателей ритмичной работы транспортных предприятий крупных населённых пунктов является соблюдение графиков движения на маршрутах [1]. Это относится ко всем видам транспорта, в том числе и к троллейбусам. Обладая ограниченными по сравнению с автобусами возможностями маневрирования, они могут создавать предпосылки для возникновения заторов и пробок на улицах с интенсивным движением транспорта. Остановка троллейбуса на маршруте может быть вызвана двумя причинами: поломкой троллейбуса, либо обесточиванием питающей контактной сети. Последнее явление довольно таки распространено в городах с изношенной контактной сетью, когда износ питающих проводов приводит к критической по условию прочности площади поперечного сечения проводов.

Поломка троллейбуса не является препятствием для дальнейшего обслуживания пассажиропотока на маршруте и приводит лишь к увеличению интервала между движением троллейбусов.

Обрыв питающего провода приводит к срыву транспортного обслуживания не только на одном маршруте, но и на остальных, пролегающих на данной магистрали.

В последнее время наметилась тенденция на постепенное замещение троллейбусов на электробусы, собираемые на базе элементной базе первых, но оснащаемых автономным источником электрической энергии – аккумуляторами. В отличие от традиционных аккумуляторов, которыми комплектуются троллейбусы для эксплуатации с централизованной системой энергоснабжения, к аккумуляторам электробусов предъявляются более жёсткие требования, что не позволяет применять в качестве источника питания аккумуляторы старых типов. Аккумуляторы нового типа (литий-ионные), удовлетворяя эксплуатационным требованиям, отличаются высокой (на текущий момент) стоимостью по сравнению с традиционными, что ограничивает возможности быстрой замены троллейбусов на электробусы.

Существует и другой вариант решения проблемы – дооснащение троллейбусов относительно небольшим по ёмкости литий-ионным аккумулятором для продления маршрута по

дорожно-уличной сети, на которой отсутствует централизованное электроснабжение, на несколько километров. Успешные испытания, проведённые, в частности, в г.Новосибирске подтвердили правильные схмотехнические решения, доказали жизнеспособность идеи и позволили перейти к выпуску таких троллейбусов. Стоимость троллейбусов с такой энергетической установкой ниже, чем электробусов, но всё-таки довольно высока, и в силу ограниченности финансовых возможностей транспортных предприятий не может быть реализована в нужных объёмах.

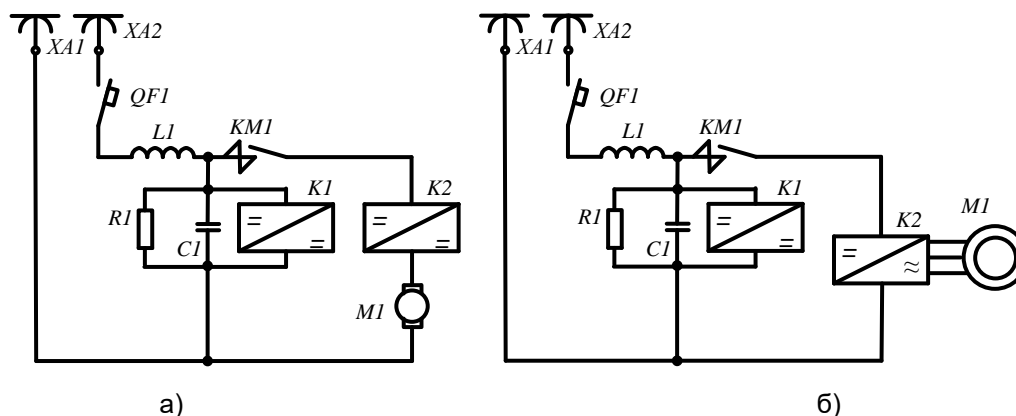
Вместе с тем, имеется ещё один вариант решения проблемы осуществления движения троллейбуса на маршруте при отсутствии напряжения в контактной сети.

Схемное решение силовых цепей современных троллейбусов позволяет при отсутствии напряжения в контактной сети продолжить движение с минимальной скоростью на расстояние до нескольких сотен метров, используя установленный на нём штатный аккумулятор. Ограничение расстояния вызвано истощением запаса электрической энергии в нём, поскольку величина ёмкости аккумулятора рассчитывалась из условия питания вспомогательного оборудования, расход энергии на работу которого, в десятки раз меньше, чем тягового. При этом простое увеличение ёмкости штатного аккумулятора до необходимой величины недопустимо, так как это решение не обеспечивает требования гальванической развязки цепей питания тягового оборудования и цепей управления.

Поскольку в настоящее время эксплуатируется подвижной состав троллейбуса с тяговыми приводами на постоянном и переменном токе [2, 3], то вспомогательный источник питания должен отвечать ряду требований:

- схмотехническое решение силовых цепей источника должно предусматривать возможность его присоединения к цепям троллейбусов с реостатными и импульсными способами управления;
- источник энергии должен быть совместим с тяговыми приводами, работающими на постоянном и переменном токе;
- величина ёмкости аккумулятора источника должна позволять перемещение троллейбуса на расстояние, большее максимальной длины участка секционирования;
- скорость движения на обесточенном участке маршрута должна быть не ниже средней скорости сообщения;
- заряд аккумулятора должен производиться при движении по участкам маршрута, на которых сохранилось централизованное электроснабжение, а также в процессе рекуперативного торможения на обесточенном отрезке пути.

Питание силовых цепей троллейбусов от централизованного источника осуществляется, как известно, на постоянном токе. Независимо от способа регулирования (реостатное, импульсное) во входных цепях схем используется фильтровое устройство (Г-образный LC-фильтр), обеспечивающий подавление помех в радиочастотном диапазоне при работе тягового электропривода. Поэтому подключение дополнительного источника целесообразно осуществлять параллельно входному конденсатору (рисунок).



*Рисунок – Схема подключения источника питания к силовой цепи троллейбуса с приводом на постоянном (а) и переменном (б) токе: XA1, XA2-токоприёмники; QF1-автоматический выключатель; L1, C1-дроссель и конденсатор фильтра; R1-разрядный резистор; KM1-линейный контактор; K1-источник дополнительного питания; K2-преобразователь тягового двигателя; M1-тяговый двигатель*

Поскольку согласно ГОСТ величина питающего напряжения в контактной сети может изменяться в пределах от 420 до 720 В, то напряжение на выходе источника должно быть не ниже номинального (550 В) постоянного тока.

Структурные схемы, поясняющие варианты подключения дополнительного источника к силовым цепям троллейбусов с приводами на постоянном и переменном токе, приведены на рисунке.

Поскольку напряжение на зажимах штатного аккумулятора троллейбуса составляет 24 В, то для питания тягового двигателя необходимо повышать напряжение. Схемные решения преобразователей постоянно-постоянного тока общеизвестны и поэтому здесь не приводятся. Вместе с тем, следует отметить, что для повышения кратности напряжения аккумулятора дополнительного источника по отношению к выходному напряжению может оказаться целесообразным переход к батарее аккумуляторов, выполненной путём последовательного соединения нескольких штатных.

Такое включение позволит снизить токовую нагрузку полупроводниковых элементов преобразователя и избежать расширения номенклатуры изделий в комплекте оборудования троллейбуса.

Наличие двух режимов работы источника (разряд и заряд) приводит либо к необходимости разработки реверсивного варианта силовых цепей преобразователя источника, либо к использованию для заряда аккумулятора источника стандартного преобразователя собственных нужд троллейбуса.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Бирюков, В.В. Энергетические аспекты функционирования транспортных систем: монография / В.В. Бирюков. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-в. 2014. -264 с.
- 2 Бирюков, В.В. Энергосбережение на электрическом транспорте: монография / В.В. Бирюков. -Иркутск: Изд-во Ир. Гос. Техн. Унив, 2009. -244 с.
- 3 Бирюков, В.В. Тяговый электрический привод: учеб. пособие / В.В. Бирюков, Е.Г. Порсев. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-в., 2013, -314 с.

**REFERENCES**

- 1 Biryukov V.V., Energy issues in transportation systems operation [Energeticheskie aspekty funktsionirovaniya transportnykh sistem]. Novosibirsk: Novosibirsk st. techn. univ. 2014. 264 p.
- 2 Biryukov V.V., Energy saving on electric transport: article thesis [Energoberezhenie na elektricheskom transporte]. Irkutsk: Irkutskiy St. Techn. Univ. 2009. 244 p.
- 3 Biryukov V.V., Porsev E.G., Traction electric drive [Tyagovyy elektricheskiy privod]. Novosibirsk: Novosibirsk st. techn. univ. Publ. 2013, 314 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** троллейбус, дополнительный источник питания, преобразователь, схема подключения, тяговый привод

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Бирюков Валерий Викторович, канд. техн. наук, доцент НГТУ

Панченко Юрий Вадимович, магистрант НГТУ

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ

---

## **ОПТИМИЗАЦИЯ МОРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПЕРЕВОЗКАХ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В АРКТИКЕ**

**ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)»  
ПАО «Газпром»**

**О.В. Соляков, Н.В. Першин, И.Д. Шарапов**

---

### **OPTIMIZATION OF MARITIME TRANSPORT SYSTEMS FOR LIQUEFIED NATURAL GAS TRANSPORTATION IN THE ARCTIC REGION**

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

Public Joint Stock Company Gazprom (Gazprom) 156a, Prospekt Moskivskiy, Saint-Petersburg, 196105, Russia

**Oleg V. Soliakov** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of RUT)

**Nikita V. Pershin** (Supervisor of Gazprom)

**Igor' D. Sharapov** (Expert in economics of Gazprom)

---

**ABSTRACT:** The article considers questions of use of marine transport systems for transportation of liquefied natural gas in the Arctic. Authors emphasize the significant role of the transit through the Northern Sea Route, the domestic route between the North-Western and the Far Eastern regions of Russia. The article considers structures of the Arctic transport system, reflects the scope of study and optimization of marine transport systems (MTS) and water transport systems, which involves taking account of interaction and mutual influence of all elements of the system (cargo ships, icebreakers, coast store, etc.), working in harsh conditions (ice conditions, terminals' weather windows, etc.). The paper presents based on the object-oriented approach software implementation of the principle of the study of MTS considering vessels as independent objects moving and interacting in GIS environment under control of logic blocks of the dynamic simulation model.

**Keywords:** marine transport systems, marine transport systems, natural gas

---

Рассмотрены вопросы использования морских транспортных систем при перевозках сжиженного природного газа в Арктике. Показана роль транзитного значения Северного морского пути, являющегося внутренним маршрутом между северо-западными и дальневосточными регионами РФ. Рассмотрены

рены структуры Арктических транспортных систем. Отражена проблематика исследования и оптимизации МТС и систем водного транспорта, состоящая в необходимости учета взаимодействия и взаимовлияния всех элементов систем (транспортные суда, ледоколы, береговое хранилище и т.п.), работающих в условиях нестационарных внешних условий (ледовые условия, окна погоды работы терминалов и т.п.). На основе объектно-ориентированного подхода представлена программная реализация принципа исследования МТС в виде представления судов как самостоятельных объектов, движущихся и взаимодействующих в геоинформационной среде под управлением логических блоков динамической имитационной модели.

В Арктической зоне РФ морские транспортные системы (МТС) имеют важное значение в вопросах обеспечения функционирования промышленных комплексов, а также жизнедеятельности населения, находящихся в районах арктического побережья. Арктическая МТС является весьма сложным как технико-технологическим, так и организационно-экономическим образованием. Роль МТС и ее значение в северных широтах, прежде всего, связаны с обширной протяженностью береговой линии Арктической зоны РФ и такими факторы как:

- отсутствие или неразвитая инфраструктура наземных коммуникаций круглогодичного действия в районах морского побережья;

- связь морских трасс внутренних водных путей Европейского и Азиатского Севера;
- магистрали железных дорог этих крупных регионов РФ.

Стратегические факторы:

- контроль над морскими акваториями, обладающими природными ресурсами;
- Северный морской путь (СМП), имеющий транзитное значение, обеспечивающий связь от северо-запада до дальнего востока РФ;
- рост транзитных перевозок по СМП между портами Европы и портами региона Тихого океана.

В условиях Арктики для перевозок нефти используются транспортные системы (ТС) (таблица 1).

*Таблица 1 – Структура Арктических транспортных средств*

Наименование структурного элемента	Назначения и требования
Сухопутный нефтепровод (СН) и насосные станции	Перекачка нефти с центрального пункта сбора на месторождениях до БРП (или до пункта подключения к магистральному сухопутному трубопроводу)
Береговой резервуарный парк (БРП) и насосные станции	Хранение нефти, поступающей с месторождений, для отгрузки в ЧТ. Подогрев и перекачка нефти на ЧТ. Компенсационные объемы на случай задержек в прибытии ЧТ
Подводный трубопровод (ПТ)	Транспорт нефти от БРП к отгрузочному терминалу
Отгрузочное устройство (терминал)	Регулярная круглогодичная отгрузка нефти в ЧТ
Терминальные суда (ледокол или дежурное судно)	Обеспечение безопасности отгрузочного терминала и ЧТ. Эвакуация персонала терминала в аварийных условиях
Челночные танкеры (ЧТ) следовыми подкреплениями	Перевозки нефти от места отгрузки до пункта назначения (перевалочная база или экспортный порт)
Линейные ледоколы	Проводка ЧТ на маршруте БРП – перевалочная база в ледовой обстановке
Перевалочная база (ПБ)	Перевалка нефти с ЧТ в линейные танкеры. Бункеровка ЧТ. Минимизация простоев танкеров в ожидании грузовых работ
Вспомогательные суда и буксиры на ПБ	Обеспечение маневрирования танкеров в акватории ПБ, а также операций швартовки и загрузки танкеров
Линейные танкеры (ЛТ)	Морские перевозки нефти по чистой воде на участке ПБ – порт назначения

Программа «Стратегия развития морской портовой инфраструктуры России до 2030 г.» отмечает, что модернизация Арктической МТС является приоритетным направлением развития Арктической зоны РФ [1]. Объем перевалки грузов через российские порты к 2030 году должен вырасти на 84%. Модернизация портов Арктики таких как Хатанга, Тикси, Певек, Дудинка, Диксон, а также создание новых отгрузочных терминалов в портах Индига, Сабетта и др. для безопасного плавания по трассам СМП являются одними из главных направлений.

Программа содержит предложения по развитию флота (ледокольного, транспортного), портов, а также построения системного обеспечения безопасности мореплавания, они должны обеспечить вывоз из месторождений на побережье и шельфе Баренцева и Карского морей нефти, газа и конденсата потребления на круглогодичной основе, осуществлять регулярные перевозки, транзит по СМП, северный завоз, а также вывоз продуктов добычи [1].

Акционерные производственно-транспортные предприятия, осваивающие природные ресурсы Арктики определены как финансисты при разработке транспортных судов ледовых категорий, в частности танкеров. Установлено, что введение развития прибрежной портовой инфраструктуры будет выполняться за счет средств грузовладельцев и субъектов Арктического региона РФ на принципах государственно-частного партнерства. Современный водный транспорт, особенно морской, – это высокотехнологичная отрасль, которая поможет инновационному развитию экономики для многих регионов в области судостроения, судоремонта, металлургии, электроники, производства судовых двигателей и т.п.) [2].

Арктическая ТС с перспективным блоком представлена на рисунке 1.

АРКТИЧЕСКАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА					
Основные виды грузов	Направления перевозок	Подсистема грузового транспорта (ледового класса)	Подсистема портового хозяйства	Подсистема транспортной инфраструктуры	Подсистема экономического регулирования
Насыпные (навалочные) Генеральные (включая контейнеры) Наливные (нефть и нефтепродукты)	Северный завоз: с запада с востока Каботаж Дудинское направление Транзит по СМП	Балкеры Танкеры дедвейтом до 50 т.т. Контейнеровозы Лесовозы Рефрижераторы	Порты восточного и западного акторов Портопункты (включая бункеровочные) Терминалы стационарные Терминалы рейдовые	Ледокольный флот Вспомогательный флот Службы безопасности (включая экономическую) Службы гидрометеорологического и навигационного мониторинга	Законодательство о торговом мореплавании Тарифное регулирование Налоговое законодательство Таможенное законодательство Система страхования Экологическое регулирование
ПЕРСПЕКТИВНЫЙ БЛОК					
Крупномасштабные перевозки нефти Сжиженный природный газ	Печорское море Обская губа Енисейский залив Полуостров Ямал	Танкеры линейные дедвейтом 100 т.т. и выше Газовозы дедвейтом 100 т.т. и выше	Терминалы-накопители на добычных платформах	Ледоколы нового поколения (включая двухосадочные), способные к ледовой проводке судов дедвейтом 100 т.т. и выше	Федеральный закон о Северном морском пути и соответствующая ФЦП

Рисунок 1 – Арктическая транспортная система

В Арктике расположены девятнадцать морских портов РФ. Эти порты переработали в 2011 году 41,0 млн. т грузов – 7,7% от общего грузооборота российских портов. По статистическим данным портами Арктики осуществляется перевалка 6,2% наливных и 9,5% сухих грузов от общего грузооборота по этим видам грузов всех портов РФ. Порты Арктики можно разделить на две группы:

– Мурманск, Архангельск, Витино и Кандалакша. Эти порты переваливают 85,4% грузов проходящих через регион.

– Варандей и Дудинка – порты, обслуживающие потребности одной компании.

Для повышения эффективности их работы им придается статус особых экономических зон (ОЭЗ) [3].

Статистические исследования показывают, что рост грузо- и пассажиро- потока портов, которые действуют в нормальном режиме, составляет от 3 до 6% в год, а при вводе для порта свободного режима – от 20% и выше [3].

Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года предусматривает для развития конкурентных преимуществ в транспортной инфраструктуре создание портовых особых экономических зон (ПОЭЗ). Примером является Мурманский морской порт, имеющий особенное значение среди северных портов РФ [3, 4].

Мурманская область предполагается в качестве базового региона освоения углеводородных ресурсов шельфа Западной Арктики и в качестве важнейшего звена в транспортно-

технологической схеме доставки углеводородов потребителю за рубежом. Планируется, что с арктических месторождений нефтегазы и газоконденсат будут доставлены в Мурманский порт с помощью танкеров-челноков ледового класса, а затем будут перегружены в океанские танкеры. Сейчас Мурманский порт используется таким образом для доставки нефтегазов, идущих на экспорт из портов Архангельск и Витино. Большие перспективы связаны с экспортом из РФ сжиженного природного газа (СПГ).

Морская доктрина РФ определяет долгосрочные задачи развития морской деятельности в Арктике на период до 2030 года [5]. Основные направления модернизации Арктической МТС:

- создание морских разведочных, добывающих и транспортно-логистических объектов и комплексов с повышенной экологической безопасностью и экономической эффективностью, обладающих большим эффектом для основных отраслей промышленности, а также регионов;

- строительство судов, в первую очередь нефтяных и газовых танкеров, усиленного ледового (арктического) класса с дедвейтом 100 тыс. т и выше на верфях РФ с использованием отечественных компонентов;

- осуществление модернизации работающих и постройку новых атомных ледоколов ЛК 60 и ЛК 80, учитывая необходимость обеспечения проводки по трассе СМП в 2022 году и за его границами не менее 30 млн. т грузов;

- модернизацию портов, в первую очередь расположенных в восточном секторе СМП (Хатанга, Тикси, Певек), учитывая необходимость обслуживания увеличивающихся грузопотоков и для обеспечения безопасности плавания;

- дальнейшую модернизацию законодательства о торговом мореплавании, налоговых и таможенных правил, регулирования тарифов, обеспечение страхования как грузов, так и судов на арктических морских коммуникациях.

Факторный анализ грузопотоков СМП показывает, что действие различных факторов достаточно противоречиво. Так, предполагается, что изменения климата могут в случае продолжения потепления уже к 2020 г. обеспечить плавание без ледоколов в Карском море судам класса Arc7 с проходимостью льда до 1,5 м. Однако есть и другие прогнозы – в следующие 5 лет будет похолодание и придет режим, как в конце прошлого века, когда Карском море ледокольная проводка выполнялась с декабря по май. Таким образом, в восточной части СМП толщина ледового покрова будет изменяться от 2 до 3 м, и будут изменяться требования к мощности ледоколов [6].

Сбой в транспортной системе СМП в 90-е годы прошлого века оказал негативное влияние на транспортные системы. Поддержка государством всех элементов СМП резко сократилась. Чтобы развивать транспортную систему исходя из повышения эффективности необходим масштабный рост грузопотоков [7].

Решить такую задачу можно в перспективе с помощью перевозок углеводородных ресурсов. Природный газ ранее определялся как энергетическое сырьё местного потребления и передавался целиком по трубам вплоть до 1990 г. В начале 1990-х гг., при освоении технологий массового производства и доставки потребителям СПГ наступил прорыв. В 1995 году производство СПГ составляло менее 10 млн. т. Торговля СПГ в 2012 г. составила уже 236,3 млн. т [8]. Подсчитано, что в 2015 году мировой объём торговли СПГ превысил 120 млрд. \$, обходит по этому показателю железную руду, а уступает только нефти [8].

РФ в настоящее время производит около 12% мировой нефти и более 18% природного газа. На сегодняшний день доля РФ на мировом рынке СПГ составляет менее 5%, задачей в ближайшие 20 лет – увеличение на 12% от общего объёма рынка.

Современное состояние флота ледоколов является глобальной проблемой для грузопотоков в Арктике [7]. В РФ, в настоящее время он состоит из шести атомных и пяти дизель-электрических ледоколов. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 г. предусматривает строительство трёх универсальных атомных ледоколов типа ЛА-60Я, которые способны осуществлять работу как на проводке через льды толщиной до 2,8 м, так и в районах устья Енисея, Обской губы с мелкой водой, а также других прибрежных районах морей Арктики. Они являются альтернативой ледоколам типа «Арктика» и «Таймыр» при ледовой проводке судов.

Другая проблема ледовой проводки – ширина канала. Ледоколы типа «Арктика» имеют ширину канала даже с учетом подлома 33-34 м, ширина же танкеров класса «Panamax» достигает 40 м (дедвейт до 80 тыс. т), а «Snesmax» – 50 м (дедвейт до 200 тыс. т) [6, 7]. Газово-

зы, используемые в настоящее время относятся к этому же классу. У них водоизмещение достигает 170 тыс. т. У ледоколов серии ЛК-60Я создается канал шириной всего 37-38 м, поэтому рассматривается вопрос о новых ледоколах типа ЛК-110Я, пробивающих льды толщиной до 3,5 м и осуществлять проводку судов класса «Panamax» в сложной ледовой обстановке (ширина канала 43-44 м).

В РФ предложено новое инновационное техническое средство, прокладывающее широкие каналы от 50 м в ледяном покрове. Практически все крупнотоннажные суда смогут безопасно перемещаться в любых ледовых условиях по каналам такой ширины. При создании нового устройства наиболее важным было уменьшение его ледового сопротивления [7]. Новый ледокол предлагается создать в виде многокорпусной конструкции, скрепленной единой платформой.

Обеспечение положительной динамики грузопотоков СМП должно быть обеспечено комплексом мер, куда входят [5]:

- оценка климатических изменений и разработка системы картографии для разнообразных вариантов ледовой ситуации в Арктике;
- прогноз грузопотоков СМП на период до 2030 года с учетом изменения конъюнктуры главных мировых рынков энергетики;
- разработка режима благоприятствования при международных перевозках, в том числе с использованием механизма ПОЭЗ;
- разработка морского коридора «Европа-Азия» для транзита;
- метеорологическое и гидрографическое обеспечение по всей трассе СМП;
- создание современной инфраструктуры арктических коммуникаций, в первую очередь для действующих портов (Хатанга, Диксон, Тикси, Певек и др.), а также вновь создаваемых (Индига, Сабетта, Харасовей) учитывая перспективный рост грузопотоков, в том числе транзитных;
- обеспечение уровня ледокольного флота, необходимого для обеспечения перспективных перевозок в условиях изменяющихся ледовых условий;
- создание комплекса условий на трассе СМП, являющихся привлекательными для пользователей.

При транспортировке природного газа (ПГ) в РФ до последнего времени использовались только трубопроводные системы, в РФ была создана сеть магистральных трубопроводов, являющаяся самой протяженной в мире.

В области же морских перевозок ПГ в России имеется определенное отставание, как в части объемов перевозок природного газа в сжиженном виде (СПГ), так и в части производственно-технологической базы:

- большое количество оборудования, которое необходимо для создания судов-газовозов СПГ и береговой инфраструктуры по сжижению и регазификации, отсутствует в отечественных разработках.

Однако транспортировка ПГ во воде имеет ряд важных преимуществ, к которым относятся: отсутствие технической привязки поставщика к получателю, меньшая зависимость от географических препятствий на маршруте доставки, высокая экономическая эффективность при перевозках на большие расстояния, меньшая уязвимость от геополитических факторов и региональной нестабильности, масштабируемость поставок.

Все это предопределило активное развитие зарубежного флота судов-газовозов, численность которых начиная с 1959 года стабильно растет и в настоящее время составляет почти 400 судов, а доля природного газа, перевозимого морским транспортом, в общей доле мирового экспорта составляет около 30%. В России эта доля составляет около 13% благодаря запущенному в 2009 проекту «Сахалин». Однако, несмотря на известные экономические трудности, технология перевозки СПГ водным транспортом имеет большие перспективы дальнейшего активного развития в нашей стране.

Можно выделить целый ряд направлений развития СПГ-проектов в России, которые характеризуются различными объемами перевозок и техническими аспектами использования СПГ:

- экспорт СПГ от месторождений замерзающих морей (проект «Ямал СПГ» по освоению Южно-Тамбейского ГКМ) в том числе по трассам Северного морского пути [9];
- внутренние и экспортные перевозки СПГ судами смешанного «река-море» плавания [10];
- использование СПГ в качестве моторного топлива для судов.



Внешний вид перспективных судов-газовозов СПГ показан на рисунке 2.

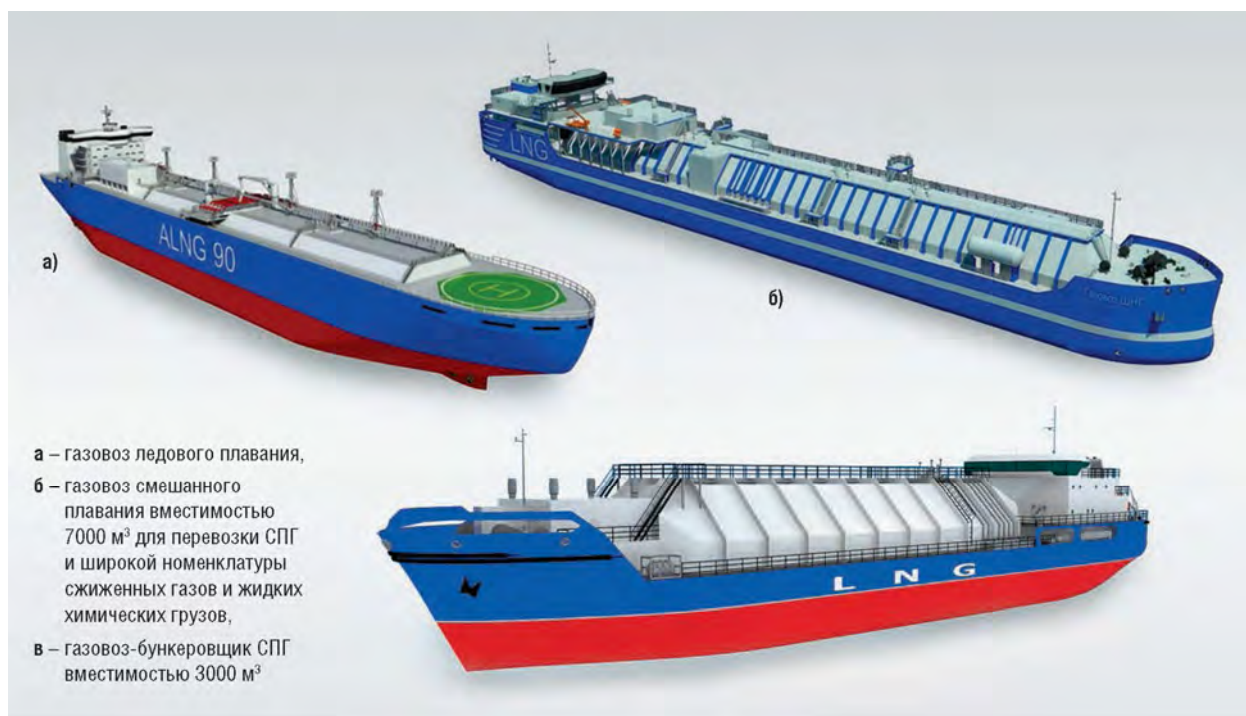


Рисунок 2 – Перспективные типы судов-газовозов СПГ

Создание нетипичных транспортных систем требует особенного внимания на этапе их концептуальных проработок и технико-экономического анализа и характеризуется повышенной ценой проектных ошибок. Это связано не только с высокой стоимостью объектов СПГ-инфраструктуры, но и с тем, что неверно заданное число и эксплуатационные качества арктических судов-газовозов СПГ не могут быть компенсированы за счет фрахтового рынка, то есть в «свободном найме» просто отсутствуют суда необходимого ледового класса или вместимости. Таким образом, отечественные системы водной транспортировки СПГ должны тщательно исследоваться на этапе их проектирования с учетом множества технических и экономических факторов.

Основная проблематика исследования и оптимизации МТС и систем водного транспорта в целом состоит в необходимости учета взаимодействия и взаимовлияния всех элементов систем (транспортные суда, ледоколы, береговое хранилище и т.п.), работающих в условиях нестационарных внешних условий (ледовые условия, окна погоды работы терминалов и т.п.).


Первое поколение компьютерных систем исследования и оптимизации морских транспортных систем предполагало использование статической модели, при этом главный акцент делался не столько на проектировании транспортной системы, сколько на оптимизации основных характеристик судна, а сама статическая модель являлась функционалом для определения технико-экономических параметров работы различных вариантов судов и выбора среди них оптимального [11].

Статическая модель позволяет достаточно хорошо описывать моделируемую систему при отсутствии в ней время-зависимых факторов и при простой логике движения и взаимодействия объектов системы (рисунок 3). Однако достоверное описание, например, работы судов и ледоколов в ледовых условиях с помощью таких моделей фактически невозможно. Преодолеть недостатки статической модели в полной степени позволяет парадигма имитационного моделирования, под которой в данной статье понимаются не только традиционные методы стохастического моделирования, но и появившиеся в последние годы (благодаря развитию объектно-ориентированного программирования) агентные имитационные модели.

В результате использования таких моделей принципиально увеличиваются возможности моделирования, существенно повышается качество и достоверность получаемых результатов (рисунок 3).

На основе объектно-ориентированного подхода возможна программная реализация следующего принципа исследования МТС: представление судов как самостоятельных объ-

ектов, движущихся и взаимодействующих в геоинформационной среде, которыми управляют блоки с логикой от динамической имитационной модели. Применение такого подхода позволило получить качественно новый инструмент проектирования судов и исследования МТС, отличающийся как широтой спектра решаемых задач, так и числом натуральных факторов, учитываемых при выполнении исследований.

Параметр	Статическая модель	Динамическая модель
Учет логики движения и взаимодействия судов	Не учитывается	Учитывается полностью. Суда и ледоколы моделируются как самостоятельные объекты, движущиеся и взаимодействующие в геоинформационном пространстве
Учет факторов, зависящих от времени	Не учитываются или принимаются по средним значениям	Учитываются полностью. Например, график поставок груза, окна работы портов, смерзание ледового канала, обрастание корпуса и мн. др.
		
Определение времени рейса в ледовых условиях	Дискретно (как правило, помесечно). Продолжительность рейса фиксирована в пределах заданного интервала (месяца)	На непрерывной основе (время рейса зависит от даты и сложившихся природных условий). Учитывается возможность ускорения-замедления судна, исходя из логических факторов
Описание движения транспортного судна на линии	Определяется «провозоспособность» на линии, к которой сводятся все технические параметры судна	Оптимизация графика поставок груза с учетом возможности движения судов с разными скоростями [2]
Моделирование ледокольной проводки	Ледоколы учитываются как «неограниченный ресурс» или ресурс с фиксированным временем ожидания	Ледоколы учитываются как самостоятельные объекты: задается их число, логика работы и география движения
Учет динамики наполнения береговых хранилищ	Не учитывается	Учитывается. Возможно решение задачи оптимизации требуемого объема хранилища

*Рисунок 3 – Возможности статической и динамической моделей применительно к описанию работы судов в ледовых условиях*

Посредством геоинформационной среды учитываются такие факторы, как береговая черта и батиметрические условия, фарватеры, закрытые акватории, вероятностные данные о ветре и волнах, условия видимости, параметры льда и ледовых сжатий – все те параметры, которые необходимы для выбора маршрута движения судов, расчета скорости и расходов топлива. Необходимо реализовать механизм поиска оптимального пути следования судов на чистой воде и во льдах («роутинг»), который позволяет не только определить путь, соответствующий минимальному времени следования, но и найти оптимальный объем ледокольного сопровождения с учетом условной «стоимости» привлечения ледокола. За счет использования геоинформационной среды обеспечивается практическая возможность реализации реальной логики движения и взаимодействия судов, которая неразрывно связана с геоинформационным пространством.

Выполняются расчеты параметров движения судна по тихой воде, в условиях ветра и волнения (с учетом принудительного снижения скорости), с учетом влияния ограниченной глубины, обрастания корпуса, самостоятельное движение в ледовых условиях, движение в караване за ледоколом, движение в смерзающемся ледовом канале и др. для судов с различными типами энергоустановок, типом и числом движителей. На основе ограниченного числа входных параметров (грузовместимость, ледовый класс, скорость хода, ледопродоимость и др.) определяется полный перечень требуемых для моделирования и оптимизации геоинформационной среде характеристик судов различных типов (танкеры, газовозы LNG и LPG, многоцелевые контейнерные суда, рудовозы и т.п.) в разных состояниях загрузки [11-18].

Принципиальным отличием таких моделей от ГИС-пространства, параметры которого (ветер, волнение, лед и т.п.) также изменяются во времени, является то, что состояние объектов, описываемых с помощью моделей условий функционирования, подвержено влиянию других объектов МТС. Примеры результатов по моделированию представлены на рисунках 4-7. Типичными примерами являются:

- модель зарастания ледового канала в припае;
- модель испарения сжиженного природного газа в танках судна-газовоза.



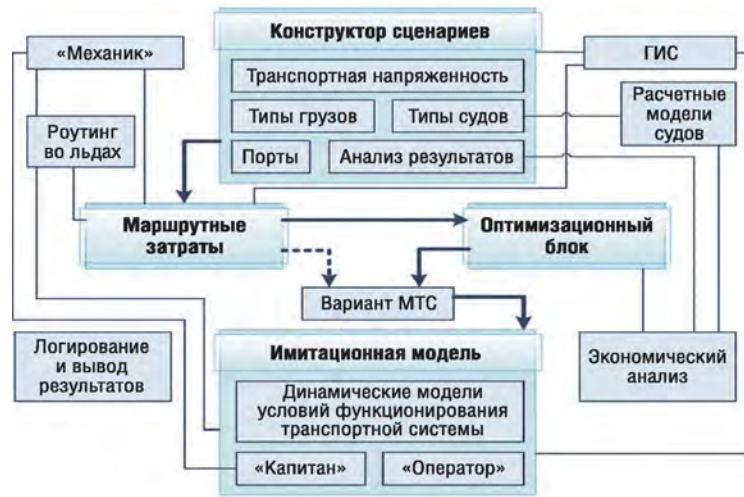


Рисунок 4 – Моделирование МТС



Рисунок 5 – Зависимости изменения технико-экономических показателей МТС в зависимости от тяжести ледовых условий

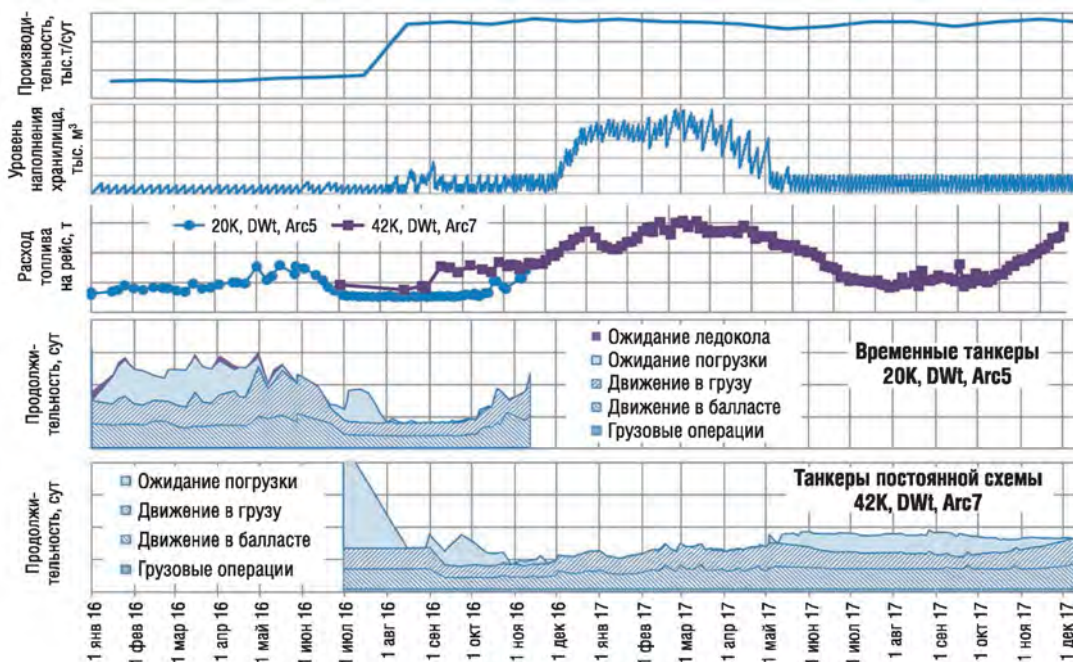


Рисунок 6 – Показатели работы МТС

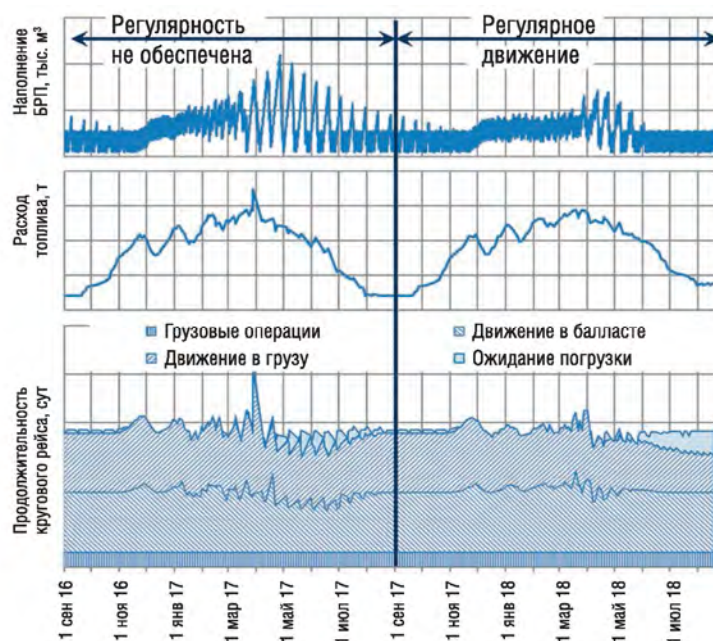


Рисунок 7 – Влияние регулярности движения по ледовому каналу показатели морских транспортных систем

**Выводы.** Комплексный учет вопросов оптимизации судов и задач управления работой МТС позволяет существенно повысить качество проектирования систем транспортировки СПГ, в особенности - новых и нетипичных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Стратегия развития морской портовой инфраструктуры России до 2030 года. –Режим доступа: <http://www.rosmorport.ru/media/File/strategy.pdf>. -01.12.2017

2 Schoyen, H. The Northern Sea Route versus the Suez Canal: Cases from bulk shipping / H. Schoyen, S. Brathen // -Journal of Transport Geography. -2011. -№19 (4), -P. 977-983.

3 Комарова, Е.П. Портовые особые экономические зоны России: перспективы развития / Е. Комарова // -Альманах современной науки и образования. -2010. -№3. -С. 977-983.

4 Stokke, O.S. Regime Interplay in Arctic Shipping Governance: Explaining Regional Niche Selection / O.S. Stokke // -International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics, -2013. -№13 (1), -P. 65-85.

5 Проект Морской доктрины Российской Федерации до 2030 года. –Режим доступа: <http://fondrosflot.ru/?q=collegium/proekt-morskoy-doktriny-rossiyskoy-federacii-do-2030-goda>. -01.12.2017

6 Евдокимов, Г.П. Перевозки по Северному морскому пути и развитие арктического флота / Г.П. Евдокимов, Н.А. Высоцкая, И.И. Костылев // Стратегия морской деятельности России и экономика природопользования в Арктике: мат-лы IV Всерос. мор. науч.-практ. конф. (07-08 июня 2012). -Мурманск: Изд-во Мурман. Гос. Техн. Univ., 2012. -С. 99-101.

7 Евдокимов, Г. Арктический транспортный флот / Г. Евдокимов // Морская стратегия России и приоритеты развития Арктики. -Апатиты: Изд-во Кольск. Науч. Центра Рос. Акад. Наук, 2012. -С. 170-173.

8 BP Statistical Review of World Energy: 65th edition. - UK: Pureprint Group Limited, 2016. -46 p.

9 Крестьянцев, А.Б. Суда-газовозы на трассах СМП / А.Б. Крестьянцев, А.М. Луцкевич, О.В. Таровик // -Морской флот. -2012. -№06/1504. -С. 14-19.

10 Крестьянцев, А.Б. Транспортировка сжиженных газов с использованием судов смешанного плавания / А.Б. Крестьянцев, А.М. Луцкевич, О.В. Таровик // -Neftegas.ru. -2013. -№1-2. -С. 42-48.

11 Таровик, О.В. Имитационное моделирование морских транспортных систем, работающих в ледовых условиях с соблюдением графика поставок / О.В. Таровик,

1 The development strategy of sea port infrastructure of Russia until 2030 [Strategiya razvitiya morskoy portovoy infrastruktury Rossii do 2030 goda]. URL: <http://www.rosmorport.ru/media/File/strategy.pdf>. -December 1, 2017

2 Schoyen H. & Brathen S., The Northern Sea Route versus the Suez Canal: Cases from bulk shipping, *Journal of Transport Geography*, 2011, 19 (4), pp. 977-983.

3 Komarova E., Special economic port zones of Russia: development prospects. Almanac of modern science and education [Portovye osobye ekonomicheskie zony Rossii: perspektivy razvitiya]. Al'manakh sovremennoy nauki i obrazovaniya. 2010. No. 3. Vol. 2. pp. 110-112.

4 Stokke O.S., Regime Interplay in Arctic Shipping Governance: Explaining Regional Niche Selection, *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 2013. Vol. 13 (1), pp. 65-85.

5 Russian Federation Naval Doctrine to 2030. Project. 2017 [Proekt Morskoy doktriny Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda]. URL: <http://fondrosflot.ru/?q=collegium/proekt-morskoy-doktriny-rossiyskoy-federacii-do-2030-goda>. -December 1, 2017

6 Evdokimov G.P., Vysotskaya N.A., Kostylev I.I., Transportation along the Northern Sea Route and development of the Arctic fleet [Perevozki po Severnomu morskому puti i razvitie arkticheskogo flota]. The strategy of maritime activities in Russia and natural resources economics in the Arctic [Strategiya morskoy deyatel'nosti Rossii i ekonomika prirodopol'zovaniya v Arktike]. Murmansk St. Techn. Univ. Publ. 2012. pp. 99-101.

7 Evdokimov G., Arctic cargo fleet. Russia's Maritime Strategy and Arctic Development Priorities [Arkticheskiy transportnyy flot. Morskaya strategiya Rossii i priority razvitiya Arktiki]. -Apatity: Kola Sc. Cent. of the Russian Acad. of Sc. Publ., 2012. pp. 170-173.

8 BP Statistical Review of World Energy. - 65th edition. - UK: Pureprint Group Limited, 2016. - 46 p.

9 Krest'yantsev A.B., Lutskevich A.M., Tarovik O.V., LNG carriers on Northern Sea Route' lanes [Suda-gazovozy na trassakh SMP]. *Morskoy flot*. 2012. No. 06/1504. pp. 14-19.

10 Krest'yantsev A.B., Lutskevich A.M., Tarovik O.V., LNG transportation using river/sea vessels [Transportirovka szhizhennykh gazov s ispol'zovaniem sudov smeshannogo plavaniya]. *Journal Neftegas.ru*. 2013. No. 1-2. pp. 42-48.

11 Tarovik O.V., Kos'min M.S., Simulation modeling of marine transport systems operating in ice conditions with a schedule of deliv-



М.С. Косьмин // -Судостроение. -2014. -№1 (812). -С. 9-14.

12 Winther, M. Emission inventories for ships in the Arctic based on satellite sampled AIS data / M. Winther et al // -Atmospheric Environment. -2014. -№91 (4), -P. 1-14.

13 Sand, M. Arctic surface temperature change to emissions of black carbon within Arctic or midlatitudes / M. Sand, T.K. Berntsen, O. Seland, J.E. Kristjansson // -Journal of geographical research: Atmospheres. -2013. -№118 (14), -P. 7788-7798.

14 Peters, G.P. Future emissions from oil, gas, and shipping activities in the Arctic / G.P. Peters et al. // -Atmospheric Chemistry and Physics Discussions. -2011. -№11 (2). -P. 4913-4951.

15 Крестьянцев, А.Б. Внедрение LNG как бункерного топлива на водном транспорте / А.Б. Крестьянцев, А.М. Луцкевич, С.А. Скуднев // -Тр. Крыловск. гос. науч. центра. -2013. -Вып. 74 (358). -С. 25-48.

16 Агарков, С.А. Экономические региональные особенности морской транспортировки сжиженного природного газа / С.А. Агарков, Г.П. Евдокимов, С.Ю. Козьменко // -Геополитика и безопасность. -2015. -№2 (30). -С. 73-82.

17 Shipping Statistics and Market Review. -Bremen, Germany: ISL Institute of Shipping Economics and Logistics, 2016. -№3. -39 p.

18 DieselFacts: A Technical Customer Magazine of MAN Diesel & Turbo / Peter D. Petersen // MAN Diesel & Turbo, 2015. -№3. -12 p.

eries adherence [Imitatsionnoe modelirovanie morskikh transportnykh sistem, rabotayushchikh v ledovykh usloviyakh s soblyudeniem grafika postavok]. *Sudostroenie*. 2014. No. 1 (812). pp. 9-14.

12 Winther M., et al. Emission inventories for ships in the Arctic based on satellite sampled AIS data, *Atmospheric Environment*, 2014. No. 91 (4), pp. 1-14.

13 Sand M., Berntsen T.K., Seland O. & Kristjansson J.E., Arctic surface temperature change to emissions of black carbon within Arctic or midlatitudes. *Journal of geographical research: Atmospheres*. 2013. No. 118 (14). pp. 7788-7798.

14 Peters G.P. et al. Future emissions from oil, gas, and shipping activities in the Arctic, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. 2011. No. 11 (2). pp. 4913-4951, DOI: 10.5194/acpd-11-4913-2011

15 Krest'yantsev A.B., Lutskevich A.M., Skudnev S.A., Implementation of LNG as bunker fuel in water transport [*Vnedrenie LNG kak bunkernogo topliva na vodnom transporte*]. Proceedings of Krylov state research center [Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra]. 2013. No. 74 (358). pp. 25-48.

16 Agarkov S.A., Evdokimov G.P., Koz'menko S.Yu., Economic regional features of marine LNG transportation [Ekonomicheskie regional'nye osobennosti morskoy transportirovki szhizhennogo prirodnogo gaza]. Geopolitics and security [*Geopolitika i bezopasnost'*]. 2015. No. 2 (30). pp. 73-82.

17 *Shipping Statistics and Market Review*. -Bremen, Germany: ISL Institute of Shipping Economics and Logistics, 2016. -No. 3. -39 p.

18 DieselFacts: A Technical Customer Magazine of MAN Diesel & Turbo. Peter D. Petersen, MAN Diesel & Turbo, 2015. -No. 3. -12 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** морские транспортные системы, арктические перевозки, природный газ

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Соляков Олег Владимирович, канд. техн. наук, доцент РУТ (МИИТ)

Першин Никита Вячеславович, инспектор ПАО «Газпром»

Шарапов Игорь Дмитриевич, экономист ПАО «Газпром»

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

196105, г.Санкт-Петербург, пр.Московский, 156, лит.А, ПАО «Газпром»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:**

---

## СТРАХОВАНИЕ ОТ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ. КАКИЕ РИСКИ ПОПАДАЮТ ПОД СТРАХОВКУ?

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

В.Л. Павлова, М.Г. Рублев

---

### ACCIDENTS INSURANCE ON RAIL TRANSPORT. WHAT RISKS DOES IT COVER?

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

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

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

---

**ABSTRACT:** The article identifies the risks that are not covered by the mandatory social workplace accidents insurance. All types of insurance coverage are given, a comparative analysis of payments to the injured people was carried out, possibilities for emotional distress reimbursement are considered (with an example from the real injuries' cases on the railway transport).

**Keywords:** workplace accident insurance, injury compensation, hidden injury, insurance coverage, rail transport

Определены риски, которые не попадают под систему обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве. Приведены все виды обеспечения по страхованию, выполнена сравнительная оценка выплат пострадавшим, рассмотрены возможности по возмещению морального вреда пострадавшему (с примером из практики травматизма на железнодорожном транспорте).

В настоящее время обязательное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний применяется с целью социального и финансового поддержания работника в момент его нетрудоспособности (из-за травмы или заболевания), то есть тогда, когда работник не может заработать средства к существованию собственным трудом по чужой вине.

Возможность получения в процессе труда заболевания или травмы, включая смертельную, имеет свои дополнительные к медико-биологическим последствиям (увечье, инвалидность, смерть) негативные социальные последствия. Это и есть опасности труда, как социального отношения [1].

В вопросе возмещения вреда пострадавшему от производственной травмы или про-

фессионального заболевания во главу угла ставится априорность вины работодателя, поскольку, если бы он не взял работника на работу, то и весь жизненный сценарий последнего пошел бы совершенно по-другому. Более того, работодатель, заключая трудовой договор с работником, фактически «покупает» его рабочую силу [2]. И так как он является своеобразным собственником рабочей силы на время выполнения работником своих трудовых обязанностей по договору, то он должен в полном объеме отвечать за «сохранность» и последствия «повреждения» своей «собственности» – наемного работника. Учитывая, что наступление вреда носит все же не всеобщий и не обязательный характер, а относительно единственный, почти случайный характер, наилучшим способом удовлетворить интересы всех трех сторон – общества, работника, работодателя является социальное страхование работников по вышеописанным рискам [1].

Объектом страхования в данном случае является имущественный интерес физического лица, который получил травму или заболевание на производстве, то есть, по сути, средний заработок пострадавшего, исчисленный за последние 12 месяцев работы у данного работодателя. Но как уже было отмечено, несчастный случай – это не только факт повреждения здоровья и утраты трудоспособности. Каждый несчастный случай связан с ущербами скрытого характера, которые могут проявляться и в ближайшем, и в отдаленном будущем. Скрытый ущерб на сегодняшний день является малоизученной составляющей социально-экономического ущерба. При этом скрытый ущерб является доминирующим в структуре социального ущерба, а его часть по приблизительным оценкам составляет от 70% и выше [3]. Скрытый ущерб может проявляться в возникновении общего заболевания, толчком которой явилась производственная травма, утрата возможности дополнительного заработка, потеря физической привлекательности, утрата репродуктивной функции, то есть утрата жизненных перспектив [3, 4]. Разберемся, страхуются ли такие риски, и что из себя представляет обеспечение по страхованию (деньги, которые получает пострадавший работник).

В настоящее время выделяют три вида обеспечения страхованию (таблица) [5-7].

*Таблица – Обеспечение по страхованию на 2017 год*

Виды обеспечения по страхованию	Размер выплат при летальном исходе	Размер страховых выплат в остальных случаях
Пособие по временной нетрудоспособности	–	100% среднего заработка пострадавшего; не позднее чем, через 1 месяц после несчастного случая; весь период восстановления трудоспособности
Страховые выплаты: – Единовременная – Ежемесячная (не более 72290,4 руб. Федеральный закон от 19.12.2016 г. №417-ФЗ о бюджете ФСС на 2017-2019 годы)	1 млн. руб.; 100% среднего заработка пострадавшего	процент* от 94018,0 руб.; процент* от среднего заработка пострадавшего
Оплата дополнительных расходов, связанных с повреждением здоровья застрахованного, на его медицинскую, профессиональную и социальную реабилитацию	–	– дополнительную медицинскую помощь, в том числе на дополнительное питание и приобретение лекарств; – посторонний уход за застрахованным, в том числе осуществляемый членами его семьи; – санаторно-курортное лечение; – протезирование, а также на обеспечение приспособлениями, необходимыми для трудовой деятельности и в быту; – обеспечение специальными транспортными средствами; – профессиональное обучение, переобучение

\*-соответствует степени утраты трудоспособности

Пособие по временной нетрудоспособности представляет собой 100% среднего заработка пострадавшего, и пострадавший получает его весь период восстановления трудоспо-

способности. Эта часть обеспечения по страхованию покрывает объект страхования – доходы пострадавшего лица, как результат исполнения трудовой функции. Страховые выплаты – единовременная и ежемесячная – предназначены для покрытия ущерба скрытого и явного характера, которые могут возникнуть как результат несчастного случая. Кроме того, страховые выплаты получает семья пострадавшего (лица, имеющие право на получение страховых выплат) при летальном исходе несчастного случая. Максимальный размер единовременной выплаты составляет 1 млн. руб. (при смерти пострадавшего), в остальных случаях – процент от уставленной фондом социального страхования ежегодной суммы (в 2016 году эта сумма составляла 84561,5 руб., в 2017 году – 94018,0 руб. [6, 7]), который соответствует степени утраты профессиональной трудоспособности (определяется по результатам медицинского освидетельствования). Ежемесячная страховая выплата предусмотрена в случае определенной степени утраты трудоспособности, как процент от среднего заработка пострадавшего (100% – при летальном исходе). Оплата дополнительных расходов направлена на восстановление трудоспособности пострадавшего и связана с приобретением медикаментов, специального питания, протезов и прочего. Также в структуре дополнительных расходов предусмотрена профессиональная реабилитация пострадавшего (например, его переквалификация при невозможности выполнять прежнюю работу). На первый взгляд список выплат пострадавшему достаточно широкий и покрывает все возможные ущербы.

Но возникает резонный вопрос о достаточности этих выплат в сложившихся условиях. Как становится понятным из описания, все выплаты пострадавшим неизбежно связаны со степенью утраты трудоспособности, то есть непосредственной возможностью работника выполнять трудовую функцию. Зачастую возникают ситуации, которые напрямую связаны с несчастным случаем или профессиональным заболеванием, и никак не отражаются на трудоспособности работника. Речь идет о безвозвратной или частичной потере некоторых функций организма или утратой жизненных перспектив. Например, утрата репродуктивной функции или возможности грудного вскармливания ребенка в результате полученного отравления, потеря физической привлекательности в результате причиненного увечья и т.д. Для иллюстрации рассмотрим конкретный пример из практики. Молодая девушка (25 лет, работает на линейном предприятии железнодорожного транспорта), не замужем, при выполнении работы получила травмы, связанные с ожогами открытых частей тела (лицо, шея, руки) химическим вредным веществом (при открытом наливке цистерн). После восстановления трудоспособности остались обезображивающие шрамы, которые никак не отражаются на ее трудоспособности, но явно связаны с утратой жизненных перспектив. Возможно ли восстановление привлекательности в рамках обеспечения по страхованию? Нет! Поскольку это не связано с ее трудоспособностью. Но статья 8 ФЗ №125 «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» предусматривает возмещение морального вреда пострадавшему. Соответственно, пострадавшая подает на работодателя в суд на возмещение морального вреда. По результатам судебного разбирательства суд присуждает ей возмещение в размере 25 тыс. руб. Достаточно ли этих средств, чтобы покрыть все ущербы данного человека? Явно, нет. Тогда возникает другой вопрос, а какая сумма была бы достаточной? Для начала разберемся с вопросом о том, что представляет собой моральный вред.

Под моральным вредом понимают всю совокупность страданий, переживаний, утрат человека, которая связана с конкретными обстоятельствами. Моральный ущерб как составляющая социально-экономического ущерба, является малоизученным, а существующие подходы затрагивают область трудовых отношений.

Объективно методологическая оценка морального ущерба основывается на 2-х предпосылках:

1 Моральный ущерб относится к ущербам жизни, здоровью, достоинству личности и другим явлениям, которые ценят индивидуумы.

2 Моральный ущерб не является экономическим по своей природе и некоторые его составляющие сложно выразить в денежной форме. Поэтому методология оценки должна обеспечивать возможность их приближенной оценки в денежных показателях [3].

Судебная практика показывает, что суммы, которые запрашивает пострадавший на возмещение морального вреда отличаются от присуждаемых в 2-10 раз в меньшую сторону [8, 9]. Это обусловлено двумя основными причинами. Первая: в действующем законодательстве нет ни одной приемлемой методики расчета величины морального вреда. Вторая причина связана с законодательной формой: в РФ применяется романо-германская законо-



дательная форма, которая основана на своде законов и правил. И если в действующем законодательстве нет четко прописанных правил или норм, то и у судьи нет юридического инструмента, чтобы присудить запрашиваемую пострадавшим сумму. И принятие решения остается на усмотрение судьи, который должен удовлетворить интересы всех участников судебного процесса. Наверняка вы слышали о том, что в других странах выплаты по возмещению морального вреда составляют миллионы условных единиц. Почему такая разница? Эта разница как раз и обусловлена законодательной формой – в других странах (например, в США) применяется южно-саксонская законодательная форма, которая построена на прецеденте. То есть для принятия решения судьей достаточно опереться на аналогичный случай из судебной практики. Именно поэтому возмещение морального вреда развивается в нашей стране очень слабо.

Эксперты же говорят о том, что компенсационная выплата, которую обеспечивает работодатель в данной ситуации должна коррелировать со стоимостью человеческой жизни.

Вопрос стоимости человеческой жизни далеко не оригинален. Еще в XVIII в. в России пытались разграничить величину денежного наказания за убийство купца, княжнего конюха, повара, кормильца и т.д. [3]. Как же обстоит дело с определением цены человеческой жизни в современной России? В настоящее время размер компенсационных выплат в РФ семье пострадавшего при летальном исходе составляет 1 млн. руб. (или ~16600 \$ США).

В США условная оценка стоимости жизни авиапассажира установлена министерством транспорта на уровне трех миллионов долларов. Сумма, предназначенная к выплате из бюджета в случае гибели гражданина США в результате авиакатастрофы, периодически пересматривается с учетом инфляции. Так, в конце XX в. жизнь «условного» американца оценивалась в 2,7 млн. \$.

Разброс стоимости жизни американцев действительно большой и начинается, как правило, от 500 тыс. \$ (при несудебном разбирательстве), достигая десятков миллионов, в случае если человек зарабатывал такую сумму денег при жизни. Сегодня методика расчета цены «жизни и смерти» является сложной и учитывает такие факторы, как возраст, образование, работу и годовой доход [10]. То есть стоимость жизни безусловно зависит и от экономических особенностей страны, от действующего законодательства, личности погибшего и пр. И установить единое значение сегодня не представляется возможным!

В сложившихся условиях просматриваются ущербы, которые не могут быть покрыты действующим в нашей стране законодательством. И получается, что даже при наличии четко действующей системы страхования от несчастных случаев и профессиональных заболеваний, а, следовательно, и социальной защиты работников, последние зачастую остаются один на один с последствиями травм и заболеваний, полученных по вине работодателя.

В связи с вышеизложенным формируется ряд выводов:

1 Данная система страхования покрывает только прямой действительный ущерб, связанный со средним заработком пострадавшего;

2 Страховые выплаты (единовременная и ежемесячная) становятся доступными пострадавшему только при наличии определенной степени утраты трудоспособности;

3 Страховые выплаты (единовременная и ежемесячная) слабо коррелируют по размеру с аналогичными выплатами в других странах, то есть явно недостаточны, чтобы покрыть все возникающие ущербы;

4 Последствия несчастных случаев в виде скрытых ущербов вообще не подлежат возмещению, хотя могут значительно снизить качество жизни пострадавшего;

5 Возмещение морального вреда пострадавшему требует разработки эффективной методики расчета величины морального вреда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Файнбург, Г.З. Охрана труда: учебное пособие для членов комитетов (комиссий) по охране труда организаций и уполномоченных (доверенных) лиц по охране труда профессиональных союзов или иных уполномоченных работниками представительных органов / Г.З. Файнбург, А.Д. Овсянкин, В.И. Потемкин. -Изд. 8-е, испр. и дополн. -Владивосток: Изд-во Примор. Инст. Гос.и Муниципал. Управл., 2007. -376 с.

2 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 г. №197-ФЗ (ред. от 27.11.2017 г.) // СПС КонсультантПлюс.

3 Дулясова, М.В. Социально-экономический

1 Faynburg G.Z., Ovsyankin A.D., Potemkin V.I., Health and Safety: instructions for Health and Safety department staff in organizations [Okhrana truda: uchebnoe posobie dlya chlenov komitetov (komissiy) po okhrane truda organizatsiy i upolnomochennykh (doverennykh) lits po okhrane truda professional'nykh soyuzov ili inykh upolnomochennykh rabotnikami predstavitel'nykh organov]. Vladivostok: Primorsky Inst. St. and Municipal Management Publ. 2007. 376 p.

2 Russian Federation Labour code [Trudovoy kodeks Rossiyskoy Federatsii] ot 30.12.2001 No.197-FZ (red. ot 27.11.2017.). "Consultant-Plus" law reference system.

3 Dulyasova M.V., Strizhkova N.V., Social and economic damage to an employee due to an accident at work [Sotsial'no-ekonomicheskiiy

ущерб работнику вследствие несчастного случая на производстве : учеб. пособие / М. В. Дулясова, Н. В. Стрижкова ; Уфим. гос. нефт. техн. ун-т. - Уфа : УГНТУ, 2004. - 63 с.

4 Гендлер, С.Г. Методические основы расчёта экономического ущерба от травматизма и профзаболеваний в современных условиях / С.Г. Гендлер, Д.А. Господариков // -Безопасность жизнедеятельности. -2001. - №5. -С. 21-24.

5 Федеральный закон от 24.07.1998 г. №125-ФЗ (ред. от 29.07.2017 г.) «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» (с изм. и доп., вступ. в силу с 10.08.2017 г.) // СПС КонсультантПлюс.

6 Федеральный закон от 19.12.2016 г. №417-ФЗ «О бюджете Фонда социального страхования Российской Федерации на 2017 год и на плановый период 2018 и 2019 годов» (вступ. в силу с 01.01.2017 г.) // СПС КонсультантПлюс.

7 Федеральный закон от 14.12.2015 г. №363-ФЗ (ред. от 19.12.2016 г.) «О бюджете Фонда социального страхования Российской Федерации на 2016 год» (вступ. в силу с 20.12.2016 г.) // СПС КонсультантПлюс.

8 Павлова, В.Л. Предпосылки к разработке методики экономической оценки морального ущерба от несчастных случаев на производстве / В.Л. Павлова, М.Г. Рублев // Безопасность жизнедеятельности: сб. научн. тр. -Екатеринбург: Изд-во Уральского Гос. Унив. Путей Сообщ., 2009. -Вып. 79 (162). -С. 97-100.

9 Павлова, В.Л. О необходимости компенсации скрытого ущерба пострадавшим на производстве / В.Л. Павлова, М.Г. Рублев, О.Ю. Ли // Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе: тезисы межд. науч.-практ. конф., посв. 80-летию Сиб. Гос. Унив. Путей Сообщ. -Новосибирск: Изд-во Сиб. Гос. Унив. Путей Сообщ., 2012. -Ч.1. -С. 269-272.

10 Гасюк, А. Человек – это звучит все дороже. Во сколько оценивается жизнь в других странах / А. Гасюк // -Российская газета. 23 Ноябрь. 2010 г. -Режим доступа <https://rg.ru/2010/11/23/strahovanie.html>. -05.12.2017

*ushcherb rabotniku vsledstvie neschastnogo sluchaya na proizvodstve]. Ufa: Ufa St. Petroleum Technological Univ. Publ. 2004. 63 p.*

4 Gendler S.G., Gospodarikov D.A. Methodical bases of calculation of economic damage from a rate of accidents and occupational diseases in modern conditions [Metodicheskie osnovy raschete ekonomicheskogo ushcherba ot travmatizma i profzabolevaniy v sovremennykh usloviyakh]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2001. No. 5. pp. 21-24.

5 Federal'nyy zakon ot 24.07.1998 No.125-FZ (red. ot 29.07.2017) On compulsory social insurance against accidents at work and occupational diseases [Ob obyazatel'nom sotsial'nom strakhovanii ot neschastnykh sluchaev na proizvodstve i professional'nykh zabolevaniy] (s izm. i dop., vstup. v silu s 10.08.2017). "Consultant-Plus" law reference system.

6 Federal'nyy zakon ot 19.12.2016. No.417-FZ On budget of Social Insurance Fund of Russian Federation for 2017 and planning period of 2018 and 2019 [O byudzhete Fonda sotsial'nogo strakhovaniya Rossiyskoy Federatsii na 2017 god i na planovyy period 2018 i 2019 godov] (vstup. v silu s 01.01.2017). "Consultant-Plus" law reference system.

7 Federal'nyy zakon ot 14.12.2015 No.363-FZ (red. ot 19.12.2016) On budget of Social Insurance Fund of Russian Federation for 2016 [O byudzhete Fonda sotsial'nogo strakhovaniya Rossiyskoy Federatsii na 2016 god] (vstup. v silu s 20.12.2016) "Consultant-Plus" law reference.

8 Pavlova V.L., Rublev M.G., Prerequisites for the development of a methodology for the economic assessment of emotional distress from accidents at work [Predposylki k razrabotke metodiki ekonomicheskoy otsenki moral'nogo ushcherba ot neschastnykh sluchaev na proizvodstve]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. Ekaterinburg: Ural St. Univ. of Railway Transp. Publ. 2009. Vol. 79 (162). pp. 97-100.

9 Pavlova V.L., Rublev M.G., Li O.Yu., On the need to compensate for hidden damage to the injured at workplace accidents [O neobkhodimosti kompensatsii skrytogo ushcherba postradavshim na proizvodstve]. Innovation-based factors of the development of Transsiberian Railway at present stage [Innovatsionnye faktory razvitiya Transsiba na sovremennom etape].Novosibirsk: Siberian Transp. Univ. Publ. 2012. pp. 269-272.

10 Gasyuk A, Rossiyskaya Gazeta [Rossiyskaya gazeta]. URL: <https://rg.ru/2010/11/23/strahovanie.html>. -December 5, 2017

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

*страхование от несчастных случаев на производстве, возмещение вреда, скрытый вред, обеспечение по страхованию, железнодорожный транспорт*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

*Павлова Вера Львовна, канд. экон. наук, доцент СГУПС  
Рублев Максим Григорьевич, канд. биол. наук, доцент СГУПС*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:**

*630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, СГУПС*

## **ОСОБЕННОСТИ СТРАХОВАНИЯ ОТ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПО АУТСОРСИНГУ И АУТСТАФФИНГУ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

**ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»**

**В.Л. Павлова, М.Г. Рублев**

### **ASPECTS OF WORKPLACE ACCIDENTS INSURANCE IN OUTSOURCED AND OUTSTAFFED OPERATIONS ON RAIL TRANSPORT**

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

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

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

**ABSTRACT:** The issues of workplace accidents insurance and occupational diseases for employees performing outsourced and outstaffed operations are considered. Popular forms of external service providing, and imperfection of the current regulations cause practical problems, associated with the labour deprivation in health and safety and insurance aspects. The analysis of related problems and possible ways of their solutions is carried out. Authors also considered positive changes in the current legislation, which partially eliminate the possibility of reducing labour rights and guarantees.

**Keywords:** *accident insurance, external service, occupational hazard, safety equipment, rail transport, special health and safety evaluation, health and safety*

Рассмотрены вопросы страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний для работников, выполняющих работу по аутсорсингу и аутстаффингу. Популярные формы разрешенного заемного труда и несовершенство действующего законодательства, вызывают практические проблемы, связанные с ухудшением положения работников по вопросам охраны труда и

страхования. Проведен анализ таких проблем и возможные пути их решения. Также рассмотрены положительные изменения в действующем законодательстве, которые частично устраняют возможности снижения трудовых прав и гарантий.

Сегодня многие компании применяют аутсорсинг и аутстаффинг – вывод персонала за штат работодателя для снижения издержек и рисков, связанных с персоналом. Широкое применение такая форма трудовых отношений нашла и на предприятиях железнодорожного транспорта.

Аутсорсинг – это отказ компании от выполнения ряда некритичных для бизнес-процесса функций и передача этих функций стороннему подрядчику, который профессионально специализируется на оказании данного рода услуг.

Аутстаффинг (англ. out-«вне» + англ. staff-«штат») – это способ управления персоналом, предполагающий оказание услуг в форме предоставления в распоряжение заказчика определенного количества работников, не вступающих с ним в какие-либо правовые отношения (гражданско-правовые, трудовые) напрямую, но оказывающих от имени исполнителя определенные услуги (работы) по месту нахождения заказчика.

То есть, аутстаффинг и аутсорсинг предполагает оформление части сотрудников в штат сторонней компании, которая выступает в роли формального работодателя для персонала и обеспечивает ведение рутинной кадровой работы, начисление и выплату заработной платы, перечисление налогов, а также соблюдение норм законодательства (гражданский, трудовой, налоговый кодексы РФ, другие Федеральные законы по всем вопросам трудовых отношений) [1].

В 2016 г. введен в действие Федеральный закон №116 (принятый 05.05.2014 года) о запрещении заемного труда статья 56.1 [2]. По определению Трудового кодекса РФ заемный труд – труд, осуществляемый работником по распоряжению работодателя в интересах, под управлением и контролем физического лица или юридического лица, не являющихся работодателем данного работника. Аутсорсинг и аутстаффинг имеют признаки заемного труда, но могут быть использованы при соблюдении ряда условий [2].

При использовании таких форм трудовых взаимоотношений возникает ряд объективных вопросов о страховании работников от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний. Формально такой работник защищен наличием трудового договора и получит страховку при наступлении страхового случая. Но все ли так безоблачно?

Если с работником, выполняющим работу по аутсорсингу или аутстаффингу, происходит несчастный случай или у него регистрируется профессиональное заболевание, встает первый вопрос: кто будет расследовать этот несчастный случай? С правовой точки зрения расследованием занимается работодатель – то есть аутсорсинговое, кадровое агентство. Естественно, это вызывает определенные сложности, которые отразятся на качестве расследования, правильности определения степени вины работника и работодателя, что в дальнейшем повлияет на величину страховых выплат пострадавшему. Кроме того, величина пособия по временной нетрудоспособности (наступившей в результате несчастного случая), напрямую зависит от среднего заработка пострадавшего. А в трудовых договорах для таких работников намеренно указывается минимальная заработная плата с целью снижения налогооблагаемой базы. Также возникает резонный вопрос о том, по какому классу профессионального риска назначать работодателю величину страховых взносов. Аутсорсинговые агентства (работодатель) относятся к первому классу профессионального риска [3]. Вот и получается, что растут профессиональные риски там, где их фактически не существует, а главное, снижаются там (у принимающей стороны), где они обусловлены реальными условиями труда.

До недавнего времени работники, выполняющие работу по аутсорсингу, не имели права на льготы и компенсации за работу во вредных или связанных с повышенной тяжестью условиях труда.

Практически все эти проблемы были решены внесением поправок в ТК РФ [4]. С 1 января 2016 года:

– Условия оплаты труда по трудовому договору с работником, направляемым для работы у принимающей стороны по договору о предоставлении труда работников (персонала), должны быть не хуже, чем условия оплаты труда работников принимающей стороны, выполняющих такие же трудовые функции и имеющих такую же квалификацию (ст. 341.1 [2]).

– Компенсации за работу с вредными и (или) опасными условиями труда, если работник

направляется на работу в соответствующих условиях, устанавливаются на основании информации о характеристике условий труда на рабочем месте, предоставляемой принимающей стороной.

– Несчастный случай, происшедший с работником, направленным временно для работы у принимающей стороны по договору о предоставлении труда работников (персонала) и участвовавшим в производственной деятельности принимающей стороны, расследуется комиссией, образованной принимающей стороной. В состав комиссии входит представитель работодателя, направившего этого работника. Неприбытие или несвоевременное прибытие указанного представителя не является основанием для изменения сроков расследования (ст. 341.4 [2]).

– Ставка страхового тарифа при страховании таких работников определяется в зависимости от класса профессионального риска принимающей стороны.

– Несчастные случаи, произошедшие с работниками, выполняющими работу по аутсорсингу, попадают на отчетность аутсорсинговых агентств, агентств занятости.

Эти изменения ужесточают требования и к принимающей, и к направляющей стороне, что делает применение аутсорсинга и аутстаффинга невыгодным. Кроме того, уже сейчас становится понятным, что ответственность принимающей стороны практически приравнивается к ответственности работодателя и будет только увеличиваться.

Текущими изменениями остался неохваченным вопрос о том, кто должен проводить специальную оценку условий труда (СОУТ) для таких работников. С правовой точки зрения СОУТ проводит работодатель, но при заключении договора передачи персонала принимающая сторона должна подать данные о классах условий труда и льготах и компенсациях, предусмотренных для данных рабочих мест. Из чего следует резонный вывод о том, что теперь принимающая сторона должна взять на себя обязательства по оценке рабочих мест на соответствие требованиям охраны труда.

Также актуальным остается вопрос о том, кто должен проводить обучение по охране труда для заштатных работников. Формализованный подход к проведению инструктажей аутсорсинговыми агентствами может привести и приведет к росту травматизма. Поэтому со временем и эта обязанность, возможно, ляжет на плечи принимающей стороны.

То же касается и вопроса обеспечения работников средствами индивидуальной защиты (СИЗ), которые должны выдаваться работникам с учетом выполняемой работы, профессиональных рисков, то есть реальных условий. Расплывчатость договоров, на основании которых работники выполняют трудовую функцию, не позволяет установить точный перечень спецодежды и других видов СИЗ. Это, соответственно, приводит к снижению защищенности работника в реальных условиях воздействия опасности.

Введенные в действие изменения действующего законодательства имеют очень важное социальное значение, поскольку повышают защищенность работника от неблагоприятных воздействий производственной среды и обеспечивают гарантированность прав застрахованного от несчастных случаев в таких специфичных условиях исполнения трудовой функции. Тем не менее, остается ряд актуальных вопросов по уточнению правовой базы в части охраны труда и обязательного социального страхования для работников, выполняющих работу по аутсорсингу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Что такое заёмный труд и почему его запретили? –Режим доступа: <http://www.aif.ru/dontknows/eternal/1163702>. -05.12.2017

2 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 г. №197-ФЗ (ред. от 27.11.2017 г.) // СПС КонсультантПлюс.

3 Приказ Минтруда России от 30.12.2016 г. №851н «Об утверждении Классификации видов экономической деятельности по классам профессионального риска» (Зарегистрировано в Минюсте России 18.01.2017 г. №45279) // СПС КонсультантПлюс.

4 Федеральный закон от 05.05.2014 г. №116-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (Вступ. в силу с 01.01.2016 г.) // СПС КонсультантПлюс.

1 What is temporary agency work and why was it clamped down? [*Что такое zaemnyy trud i pochemu ego zapretili?*] URL: <http://www.aif.ru/dontknows/eternal/1163702>. -December 5, 2017

2 Russian Federation Labour code [*Trudovoy kodeks Rossiyskoy Federatsii*] ot 30.12.2001 No.197-FZ (red. ot 27.11.2017.). "Consultant-Plus" law reference system.

3 Prikaz Mintruda Rossii ot 30.12.2016 No. 851n On the approval of the classification of types of economic activities by classes of occupational hazard [*Ob utverzhdenii Klassifikatsii vidov ekonomicheskoy deyatel'nosti po klassam professional'nogo riska*] (Zaregistrirvano v Minyuste Rossii 18.01.2017 No. 45279). "Consultant-Plus" law reference system.

4 Federal'nyy zakon ot 05.05.2014 No. 116-FZ On amending certain legislative acts of the Russian Federation [*O vnesenii izmeneniy v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii*] (Vstup. v silu s 01.01.2016) "Consultant-Plus" law reference system.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** страхование от несчастных случаев, заёмный труд, профессиональный риск, средства защиты, железнодорожный транспорт, специальная оценка условий труда, охрана труда

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Павлова Вера Львовна, канд. экон. наук, доцент СГУПС  
 Рублев Максим Григорьевич, канд. биол. наук, доцент СГУПС  
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, СГУПС

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВЫХ МОДУЛЕЙ И ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ СУДОХОДНЫМИ КОМПАНИЯМИ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

**С.Н. Масленников**

### **DETERMINATION OF FACTORS OF EFFICIENCY OF CARGO UNITS AND VEHICLES TRANSPORTATION BY SHIPPING COMPANIES OVER INLAND WATERWAYS**

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia  
**Sergey N. Masiennikov** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

**ABSTRACT:** The advantages and disadvantages of container and intermodal transport over inland waterways are identified. The boundaries of effective application are determined with allowance for the reduction of time under cargo operations.

**Keywords:** intermodal transport, container transport, river fleet

Выявлены преимущества и недостатки перевозок речным транспортом контейнерных и интермодальных перевозок. Определены границы эффективного применения с учетом сокращения простоев под грузовыми операциями.

Современное транспортное обеспечение экономической, производственной хозяйственной, предпринимательской, коммерческой деятельности в разной степени и на разном уровне использует грузовые единицы и перевозку в них товарных продуктов и изделий. Понятие грузовой единицы как элемента, связывающего технологические процессы участников логистического процесса в единое целое, позволяет оптимизировать логистическую систему путем прохождения грузовой единицы от изготовителя готовой продукции до конечного потребителя без ее расформирования. Реализация этого условия – «сквозной грузовой единицы» с учетом транспортных требований обусловило понятие двух видов грузовых единиц:

- первичная грузовая единица – груз в транспортной таре (в ящиках, бочках, мешках), которая проходит каналы товародвижения без переформирования;
- укрупненная грузовая единица – контейнер или грузовой пакет, сформированный на поддоне из первичных грузовых единиц.

При формировании грузовой единицы, имеющей характеристики, соответствующие международным стандартам (ИСО, ЕКС-контейнеры 20-футовые, 40-футовые, пакеты, поддоны и т.д.) использую понятие грузового модуля. Укрупнение грузовых единиц дает возможность перевозить большие объемы грузов с минимальными затратами и высокой скоростью доставки грузов на специализированном транспорте.

Контейнерные и пакетные перевозки, как новая прогрессивная технология доставки товарного груза получили интенсивное развитие в СССР в 1960-70-х годах. Однако и сегодня контейнерные перевозки являются современным и перспективным способом доставки товаров потребителям. Однако в России контейнерные перевозки находятся все еще на низком уровне развития и

*Таблица – Перевозки грузов в контейнерах и пакетах по видам транспорта, млн. т*

Показатели	Годы			
	2000	2005	2010	2015
Перевезено грузов в контейнерах:				
– железнодорожным транспортом	10,7	17,4	23,0	28,6
– морским транспортом	2,0	3,1	1,4	1,2
– внутренним водным транспортом	0,4	0,3	0,7	0,3
Перевезено грузов пакетами:				
– железнодорожным транспортом	27,5	12,2	14,7	25,7
– морским транспортом	1,0	1,1	0,5	0,4
– внутренним водным транспортом	0,7	0,5	0,3	0,5

и сильно отстают от развитых стран (таблица). Так, в 2016 году по сети железных дорог в контейнерах перевозилось лишь 2,1% грузов от общего объема перевозок.

Транспортная стратегия Российской Федерации предусматривает повышение этого показателя к 2021 году до 5,5%, что, тем не менее, не достигнет уровня развитых стран: в США в контейнерах сегодня доставляют 18% грузов, в Европе – 14%, в Индии – 16%.

На внутреннем водном транспорте России контейнерные перевозки составляют 0,2% от общего количества перевозок речным транспортом. Стратегия развития внутреннего водного транспорта России предполагает увеличение доли контейнерных перевозок более чем в два раза к 2020 году, с доведением этого показателя к 2030 году до 1,6%.

Анализ тенденций мирового товарооборота, грузооборота и транспортно-экономических преимуществ перевозки, унифицированных укрупненных грузовых единиц в комплексном, координированном и интегрированном взаимодействии разных видов транспорта дает основание для уверенного прогноза дальнейшего развития контейнерных перевозок практически на всех основных направлениях, где имеются потоки генеральных, рефрижераторных и ряда других грузов. Контейнерные перевозки становятся все выгоднее из-за совершенствования, автоматизации и механизации перевозочного процесса, снижения транспортных расходов и устранения тяжелого физического труда в пунктах перевалки грузов, повышение сохранности перевозимых грузов от отправителя до грузополучателя.

Техническое развитие позволяет развивать комбинированные перевозки:

- контрейлерная перевозка – комбинированная перевозка груза посредством автомобильного, железнодорожного и водного транспорта, при которой перевозится трейлер, полуприцеп или съемный кузов;
- ролкерные системы («Ро-Ро»);
- лихтеровозные системы;
- паромные переправы.

Общемировая тенденция развития транспортной системы ориентируется на рост перевозок, выполняемых различными видами сухопутного, водного и воздушного транспорта при помощи различного транспортного оборудования, позволяющего осуществлять бесперегрузочную доставку товарных продуктов от отправителя к получателю, тем самым значительно сократив объём промежуточных погрузочно-разгрузочных работ и приемо-передаточных операций [2].

Несмотря на сложившийся низкий уровень контейнеризации грузов есть уверенность в перспективе и речной транспорт дальнейшая контейнеризация. В условиях перманентного кризиса отрасли нужно изыскивать конкурентоспособные способы организации перевозок. Нельзя не обратить внимание на тенденцию ускоренного роста перевозок прочих грузов на всех видах транспорта, которые, вероятно, будут переходить в разряд укрупненных грузовых мест.

Влияние применения укрупненных грузовых единиц (УГЕ) имеет экономический и социальный характер для всех участников логистического процесса. При использовании УГЕ резко сокращается трудоемкость транспортных и складских операций, полностью ликвидируется тяжелый ручной труд на погрузочно-разгрузочных работах, увеличивается производительность, улучшаются условия, безопасность и культура труда работников транспорта и других отраслей производства, достигается экологический эффект за счет уменьшения отрицательного воздействия перевозимых грузов и транспортных процессов на окружающую среду. Положительный экономический эффект возникает в результате экономии эксплуатационных расходов на погрузочно-разгрузочные работы, от ускорения доставки грузов в УГЕ, от снижения затрат на создание и хранение запасов на складе, от повышения сохранности грузов.

В итоге получается экономия прямых и сопутствующих затрат на транспорте, а также сопряженных затрат в смежных отраслях народного хозяйства [1].

Вместе с тем судоходная компания решает свои тактические задачи и вынуждена прежде всего обеспечивать эффективность своей транспортной деятельности. Для принятия решения о включении судоходной компании в транспортно-технологическую систему (ТТС) с доставкой УГЕ очевидно решение двух разнонаправленных задач. С одной стороны флот эксплуатируется с неиспользуемой провозной способностью из-за потерь на тару и с другой стороны, сокращается простоя под грузовыми операциями за внедрения более совершенных перегрузочных технологий.

Определим экономический эффект для судоходной компании, используя известное выражение. Текущие эксплуатационные затраты за рейс по судну равны

$$\mathcal{E} = c_x t_x + c_{cm} t_{cp}, \quad (1)$$

где  $c_x, c_{cm}$  – судочасовые расходы по содержанию судна, соответственно на ходу и на стоянке;

$t_x, t_{ep}$  – время хода и грузовых работ за рейс.

Поскольку мы будем определять только величину эффекта от внедрения новой ТТС можно пренебречь влиянием вспомогательных операций в порту, которые существуют самостоятельно при перевозках по существующей технологии  $\mathcal{E}_{cm}$  с перевозкой груза на судне весом нетто  $G_{ep}$ , так и после внедрения новой ТТС  $\mathcal{E}_{nm}$ , при которой вместе грузом транспортируется вес тары  $G_m$ .

Тогда, удельная экономия текущих затрат определится как

$$\Delta c = \frac{\Delta \mathcal{E}}{G_{ep}} = \frac{\mathcal{E}_{cm} - \mathcal{E}_{nm}}{G_{ep}} = \frac{c_x t_x + c_{cm} \frac{G_{ep}}{B_{cm}} - c_x t_x \delta n_p - c_{cm} \frac{G_{ep} + G_m}{B_{nm}}}{G_{ep}}, \quad (2)$$

где  $B_{cm}, B_{nm}$  – судочасовая норма на грузовые работы, соответственно по старой и новой технологиям;

$\delta n_p$  – дополнительное число рейсов из-за перевозки тары

$$\delta n_p = \frac{G_{ep} + G_m}{G_{ep}}.$$

Проведя некоторые преобразования выражения (2) получим

$$\Delta c = \frac{C_x t_x}{G_{ep}} \left[ \frac{C_{cm} t_{ep}}{C_x t_x} \left( 1 - \frac{G_{ep} + G_m}{G_{ep}} \frac{B_{cm}}{B_{nm}} \right) - \left( \frac{G_{ep} + G_m}{G_{ep}} - 1 \right) \right]. \quad (3)$$

Произведя обозначения:

–  $\gamma$  – комплексный показатель соотношения затрат на стоянку и время хода

$$\gamma = \frac{C_{cm} t_{ep}}{C_x t_x};$$

–  $k$  – размер роста судочасовой нормы грузовых работ после внедрения УГЕ

$$k = \frac{B_{nm}}{B_{cm}};$$

–  $\alpha$  – соотношение массы брутто и массы нетто УГЕ

$$\alpha = \frac{G_{ep} + G_m}{G_{ep}},$$

получим

$$\Delta c = \frac{C_x t_x}{G_{ep}} \left[ \gamma \left( 1 - \frac{\alpha}{k} \right) - (\alpha - 1) \right]. \quad (4)$$

Из выражения (4) можно получить зависимости, при которых система примет равновесное состояние – приравняв  $\Delta c = 0$ . Например, можно определить минимально необходимый размер роста производительности перегрузочных механизмов при внедрении УГЕ

$$k = \frac{\alpha \cdot \gamma}{\gamma - \alpha + 1}. \quad (5)$$

На графике выражение (5) представлено на рисунке.

Из вышеприведенных зависимостей можно сделать следующие выводы:

1 Изначально должно соблюдаться соотношение  $\gamma > \alpha - 1$ . На графике это ограничение отображается ограничительной линией;

2 На значительных расстояниях (менее 0,2-0,3) переход на перевозку в УГЕ возможен при росте производительности перегрузочной техники порядка 6 раз. Собственно перевозка контейнеров отвечает этим условиям;

3 Даже на небольших расстояниях перевозка в УГЕ дает положительный эффект.

Следует заметить, что между ростом судочасовой нормы  $k$  соотношением брутто УГЕ к массе груза  $\alpha$  существует прямая зависимость. Реально эта зависимость имеет детерминированный характер – каждому конкретному типу УГЕ соответствует своя технология перегрузочных работ (и не одна).

Таким образом, доказана возможность и целесообразность вовлечения внутреннего водного транспорта к перевозкам контейнеров, переключение высокотарифицированных грузов на контейнерные перевозки, включение в систему интермодальных перевозок посредством контрейлерных и паромных перевозок может стать одним из драйверов роста



речных перевозок.

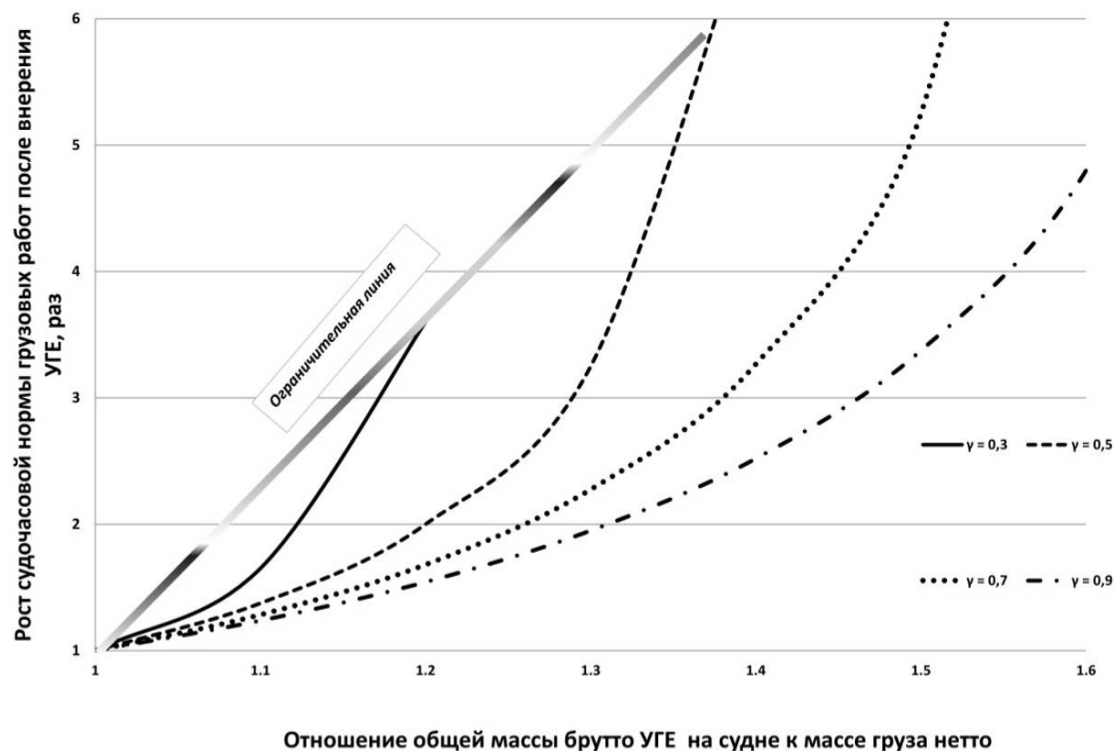


Рисунок – Минимально необходимый рост судочасовой нормы грузовых работ при переходе на перевозку УГЕ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Бунеев, В.М. Организационно-методический механизм формирования и функционирования водно-транспортных систем / В.М. Бунеев, М.В. Седунова, М.Г. Синицын // -Производственный менеджмент: теория, методология, практика. -2016. -№7. -С. 48-52.  
 2 Ефремов, Н.А. Развитие речного транспорта в XXI веке – новые технологии / Н.А. Ефремов, В.Н. Костров, В.Л. Этин, С.Г. Митрошин // -Вестник транспорта Поволжья. -2008. -№4. -С. 56-62.

1 Buneev V.M., Sedunova M.V., Sinitsyn M.G. Mechanism of water transport systems development and operation [Organizatsionno-metodicheskiy mekhanizm formirovaniya i funktsionirovaniya vodnotransportnykh system]. *Proizvodstvennyy menedzhment: teoriya, metodologiya, praktika*. 2016. No. 7. pp. 48-52.  
 2 Efremov N.A., Kostrov V.N., Etin V.L., Mitroshin S.G., Development of river transport in the XXI century - new technologies [Razvitie rechnogo transporta v XXI veke – novye tekhnologii]. *Vestnik transporta Povolzh'ya*. 2008. No. 4. pp. 56-62.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *интермодальные перевозки, контейнерные перевозки, речной транспорт*  
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Масленников Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*  
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ**

Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

**М. В. Фуфачева**

**BASIC PRINCIPLES OF RAILWAY STATIONS RECONSTRUCTION**

Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, branch Irkutsk State Transport University (Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, branch ISTU) 89, Lado Ketskhoveri St., Krasnoyarsk, 660028, Russia  
**Marina V. Fufacheva** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, branch ISTU)

**ABSTRACT:** The article considers factors affecting the reconstruction of the station layouts for dealing with long train traffic. A comparative analysis of the main activities of reconstruction is presented, just as complex technological structure of railway stations, depending on its purpose.

**Keywords:** *rail station capacity, long consist, station reconstruction, length of receiving-departure tracks*

Рассмотрены факторы, влияющие на реконструкцию путевого развития станции для освоения длинносоставного поездопотока. Проведен сравнительный анализ основных мероприятий реконструкции и сложной технологической структуры железнодорожных станций, в зависимости от ее назначения.

Проводимая в настоящее время реструктуризация железнодорожного транспорта предусматривает внедрение на сети железных дорог новой эксплуатационной модели управления технологией перевозок, которая предполагает улучшение показателей использования подвижного состава. В соответствии со Стратегической программой развития ОАО «РЖД» на период до 2030 года предполагается рост объемов перевозок, что потребует дополнительных пропускных и провозных способностей железнодорожных линий. Одним из наиболее эффективных мероприятий по повышению пропускной способности железных дорог является увеличение норм массы и длины поездов.

Для освоения поездопотока длинносоставных и тяжеловесных поездов необходимо иметь в наличии станционные пути достаточной полезной длины. Для большинства станций, построенных еще в прошлом веке, реконструкция не перестраивалась. Длина приемоотправочных путей на тот момент находилась в пределах 900 м, что соответствовало установленной длине грузовых поездов.

Любая железнодорожная станция, как сложная система, состоит из основных элементов – и, в первую очередь, это парки путей. Их компоновка в виде схемы выступает как определяющее начало технологии работы станции.

В настоящее время проекты реконструкций станций разрабатываются в соответствии с Правилами и техническими нормами проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм. При этом предварительно схемы станций намечают, исходя из предполагаемых объектов работы и местных условий, которые решающим образом влияют на выбор той или иной схемы путевого развития. Оценка предлагаемых вариантов схем реконструкции станций производится путем сравнения их технико-экономических показателей с наиболее экономичными из числа ранее запроектированных или уже построенных станционных объектов. Основным критерием оценки, в данном случае, служат приведенные затраты на реконструкцию станции [3].

Наличие единственного критерия сопоставления схем ведет зачастую к неправильной оценке того или иного фактора, который при определенных обстоятельствах приобретает большой вес. Качественным показателям, таким как загруженность горловины, пропускная способность основных элементов станции, среднее время нахождения вагона на станции, отводится второстепенная роль, и они учитываются интуитивно [1].

Сложная технологическая структура железнодорожных станций, множественность критериев оценки их схем приводят к противоречию традиционных методов проектирования.

Для железных дорог характерным является наличие на участке участковых, грузовых, промежуточных станций и одной сортировочной станции. Поскольку важнейшими показателями эксплуатационной деятельности станций являются простой вагонов, маршрутная скорость, интервалы прибытия и отправления, количество поездов, их длина и вес, то и реконструкция станций, как правило, направлена на улучшение этих показателей. Также технология работы станций влияет на пропускную и провозную способности всего участка. Таким образом, одним из основных принципов увеличения пропускной способности участка и станций является прием, отправление и переработка длинносоставных грузовых поездов. Для эффективности пропуска данной категории поездов необходимо произвести реконструкцию станций по удлинению приемоотправочных путей [1].

В основном все технические станции расположены в городской зоне, что вызывает ограничение территории для переустройства станции, также станционная площадка и прилегающие к станции участки характеризуются различными топографическими условиями, в зависимости от региона. Наибольшие затруднения в реконструкции технических станций, по условиям ограничения площадки, возникают в узлах крупных городов. Все технические станции различаются объемами переработки и расположением основных устройств, в частности расположением парков.

Поскольку переустройство станции по удлинению приемоотправочных путей тесно связано с длиной и шириной площадки, на существующих станциях требуемое развитие не может быть обеспечено, потому что при переустройстве затруднительно удлинение станций в сторону подходов, особенно если имеются руководящие подъемы [3].

Особенностью топографических условий являются водоразделы, расположенные в непосредственной близости от станций. Таким образом, на промежуточных станциях возникают серьезные трудности при укладке дополнительных путей, сооружении новых устройств и переносе горловин.

Большое влияние на проект реконструкции станции оказывает план и профиль станции.

Из-за наличия малых радиусов кривых, а также сложных обратных кривых на подходах снижаются скорости, следовательно увеличивается время на прием поездов; растут интервалы между поездами, поступающими на станцию с разных направлений.

В настоящее время отсутствует методика, позволяющая определить количество путей, которые необходимо удлинять на отдельном пункте; сколько отдельных пунктов на участке должно быть реконструировано с удлинением путей.

Для технических станций проект реконструкции может включать в себя следующие мероприятия:

- удлинение приемоотправочных путей;
- увеличение числа путей в парках станции;
- улучшение горловин;
- переустройство горки;
- укладку дополнительного пути надвига;
- устройство путепроводных развязок на подходах к станции.

Реконструкционные мероприятия на отдельных пунктах в связи с пропуском длинно-составных грузовых поездов можно классифицировать в виде граф «И-ИЛИ ДЕРЕВО» реконструктивных мероприятий железнодорожных станций (рисунок 1 и 2).

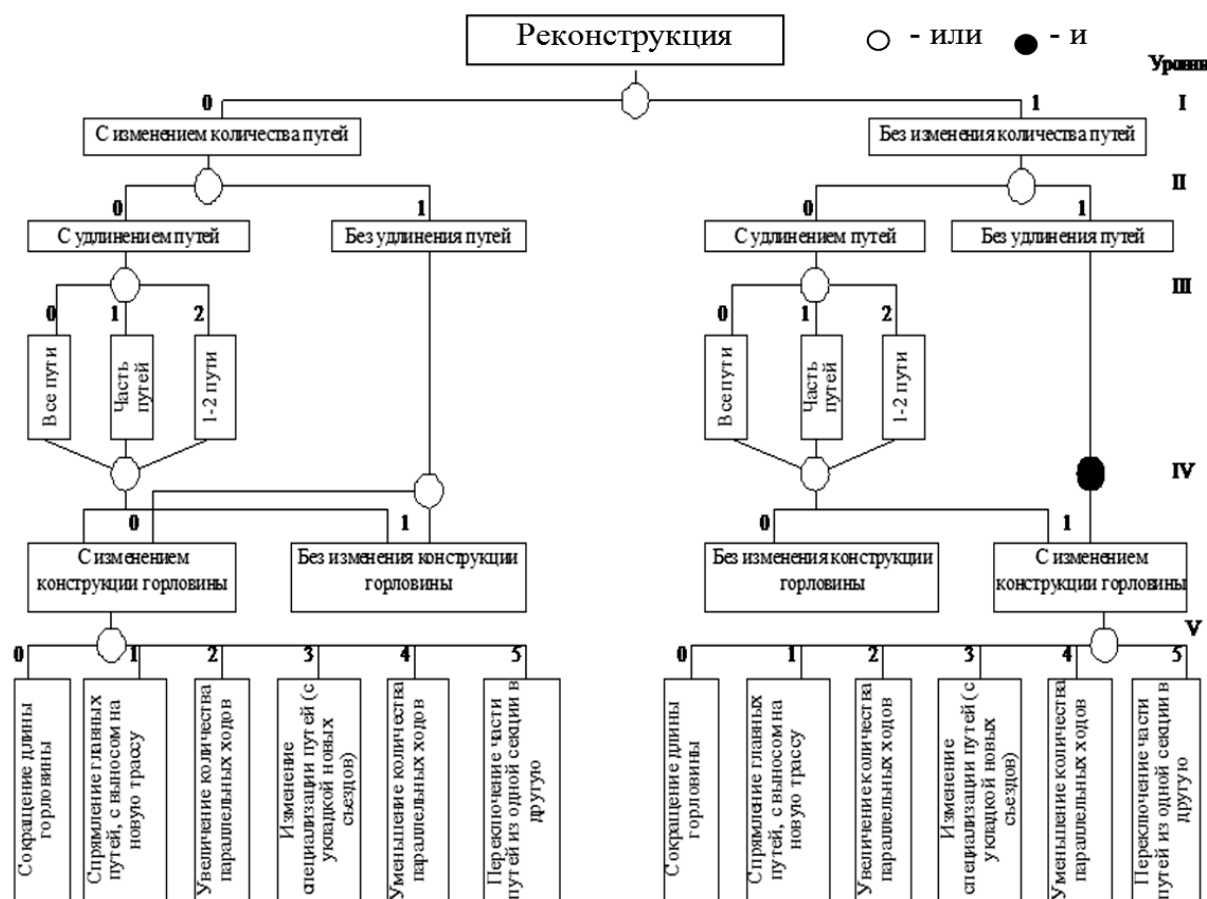


Рисунок 1 – Граф «И-ИЛИ ДЕРЕВО» реконструктивных мероприятий промежуточных станций

Имеются определенные отличия в непосредственном процессе приема длинносоставного поезда на станцию. Продолжительность увеличивается в 1,2-1,5 раза по сравнению с продолжительностью занятия этой же горловины поездом установленной длины. Кроме того, увеличиваются затраты времени на технический и коммерческий осмотры составов и их накопление в сортировочном парке.

Любая железнодорожная станция, как сложная система, состоит из элементов, работающих в определенной последовательности. Их компоновка в виде определенной схемы является технологической основой работы станции. Различные сочетания элементов станции определяют их принципиальные схемы [2]. Для удобства подготовки схем рекомендуется пользоваться классификатором реконструктивных мероприятий технических и промежуточных станций, что позволяет избежать рассмотрения неприемлемых схем станций.

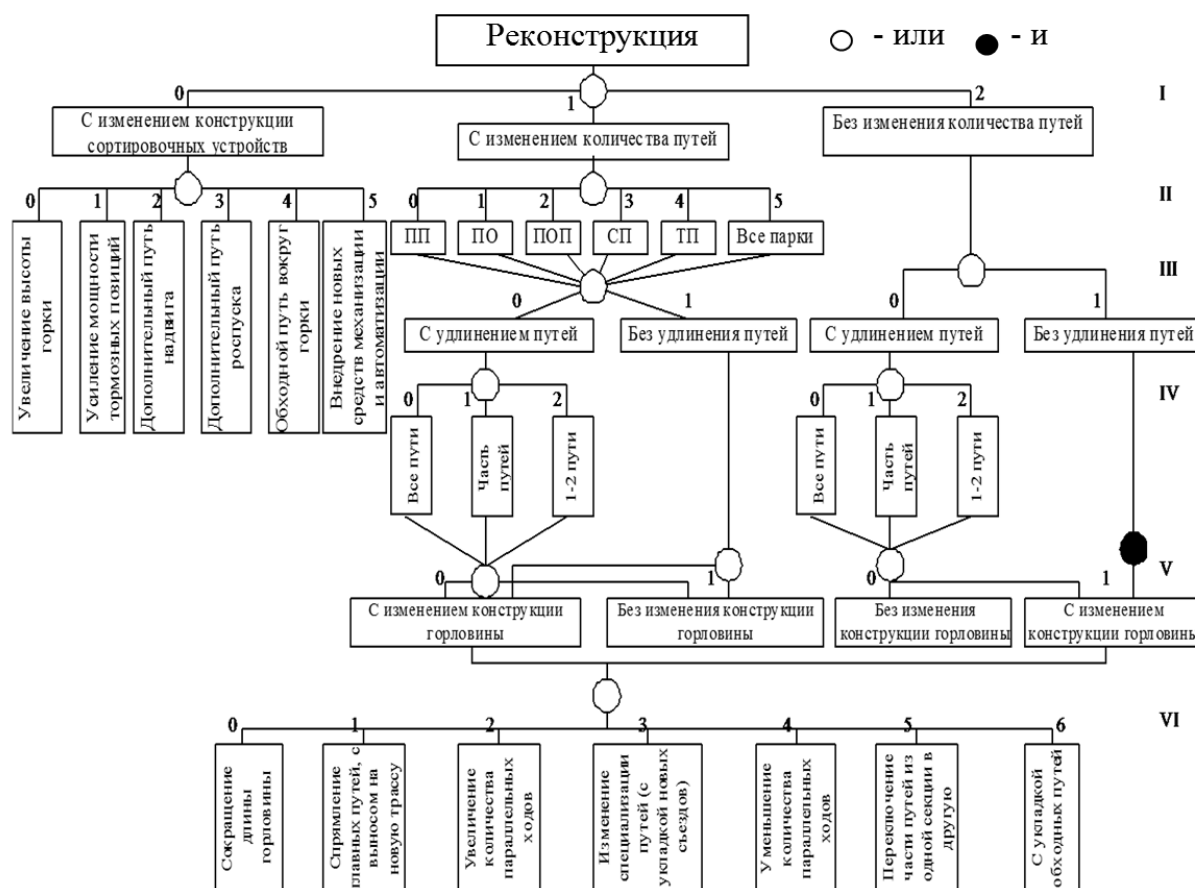


Рисунок 2 – Граф «И-ИЛИ ДЕРЕВО» реконструктивных мероприятий технических станций

Обобщив вышесказанное, можно выделить основные моменты, которые свойственны любой разработке схемы реконструкции станции:

- 1 Обоснование реконструкции;
- 2 Выбор элемента станции для реконструкции;
- 3 Определение топографических условий;
- 4 Разработка нескольких вариантов реконструкции элемента станции;
- 5 Определение технико-экономических показателей при разработанных вариантах реконструкции;
- 6 Определение приведенных затрат на реконструкцию элемента станции.

Единственное различие состоит в том, что необходимо установить назначение станции (промежуточная или техническая).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Иванкова, Л.Н. Развитие методов этапного овладения перевозками на двухпутных участках при обращении длинносоставных грузовых поездов: монография // Л.Н. Иванкова, А.Н. Иванков, М.В. Фуфачева. -Магнитогорск: Изд-во «Магнитогорский дом печати», 2012. -142 с.  
 2 Фуфачева, М.В. Выбор рациональных конструкций горловин раздельных пунктов / М.В. Фуфачева // Тр. XI науч.-практ. конф. Красноярск. Инст. Жел. Трансп. – филиала Иркутск. Гос. Унив. Путей Сообщ. –Красноярск: Изд-во Дор. инф.-библ. центра Красн. жел. дороги, 2007. –С. 44-49.  
 3 Фуфачева, М.В. Основные факторы, определяющие необходимость реконструктивных мероприятий, связанных с удлинением приемоотправочных путей / Л.Н. Иванкова, А.Н. Иванков, М.В. Фуфачева // Проблемы и перспективы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации Российских ж.д.: мат-лы всерос. науч.-практ. конф. - Иркутск: Изд-во Иркутск. Гос. Унив. Путей Сообщ., 2007. -С. 116-121.

1 Ivankova L.N., Ivankov A.N., Fufacheva M.V., The development of methods for the stepwise transportation capacity increasing on double-track line sections when handling long freight trains [Razvitiye metodov etapnogo ovladeniya perevozkami na dvukhputnykh uchastkakh pri obrashchenii dlinnosostavnykh gruzovykh poezdov]. Magnitogorsk: Magnitogorskiy dom pechati Publ. 2012. 142 p.  
 2 Fufacheva M.V., The choice of rational designs of bottle-necks of rail interstaions [Vybor ratsional'nykh konstruksiy gorlovin razdel'nykh punktov]. Krasnoyarsk: The Road Inf. & Libr. Center of the Krasnoyarsk Railways Publ. 2007. pp. 44-49.  
 3 Fufacheva M.V., Ivankova L.N., Ivankov A.N., The main factors determining the need for reconstructive measures associated with elongation of the receiving-departure tracks [Osnovnye faktory, opredelyayushchie neobkhodimost' rekonstruktivnykh meropriyatiy, svyazannykh s удлинением priemootpravochnykh putey]. Problemy i perspektivy izyskaniy, proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii Rossiyskikh zh.d. Irkutsk: Irkutsk St. Transp. Univ. Publ. 2007. pp. 116-121.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

пропускная способность, длинносоставные поезда, реконструкция станций, длина приемоотправочных путей

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Фуфачева Марина Валерьевна, канд. техн. наук, доцент КРИЖТ ИргУПС

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

660028, г.Красноярск, ул.Ладо Кеңзовели, 89, КРИЖТ ИргУПС

**MODUS VIVENDI ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ СИБИРСКОГО СЕВЕРА И КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

**В.А. Виниченко****MODUS VIVENDI OF THE TRANSPORT INFRASTRUCTURE OF THE SIBERIAN NORTH AND THE CLIMATIC CONDITIONS**  
Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia  
Viktoriya A. Vinichenko (Ph.D. of Economic Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

**ABSTRACT:** The article explores the transport infrastructure of Siberia, estimates the level of its development and temporal conditions under which they interact. The impact of extreme climate can produce negative effects not only on the technical condition of water transport vehicles and engineering structures, but also on its reconstruction and modernization by the aid of investment capital. The author underlines the idea that reliability and sustainability of the transport system can be achieved through the rational combination and the participation of all types of transport on the basis of a comprehensive assessment of the economic consequences of such interaction.

**Keywords:** *transport infrastructure, level of development, Siberia, interaction*

Проведен анализ объектов транспортной инфраструктуры Сибири, оценивается уровень их развития, а также временные условия, на которых они взаимодействуют. Негативное влияние суровых климатических условий отрицательно воздействует не только на техническое состояние подвижного состава и инженерных сооружений, но и на возможности их реконструкции и модернизации за счет инвестиционного капитала. Автором отмечается, что надежность и устойчивость транспортной системы может быть обеспечена за счет рационального сочетания и участия всех видов транспорта на основе всесторонней оценки экономических последствий такого взаимодействия.

Огромная территория северной части России подвержена влиянию низких температур, скована льдами и малопригодна для проживания, однако, таит в своих недрах колоссальные запасы углеводородного сырья, редкоземельных металлов, а также пронизана густой сетью водоемов. Реализация новых инфраструктурных проектов всегда была связана с высокими рисками и капиталоемкостью, причиной которых были суровый климат, вечная мерзлота, мощные водные преграды, зоны высокой сейсмичности [2]. Основные капиталовложения осуществляются в инфраструктуру трубопроводного и железнодорожного видов транспорта, что объясняется не только ресурсной специализацией региона, но и преобладанием дерново-мохового покрова, который способствует разрушению всех инженерных коммуникаций, сооруженных на нем.

Инфраструктура и территория в совокупности обладают общим свойством «иммобильность», что означает закрепленность за определенной территорией, иначе говоря транспортная инфраструктура неразрывно связана с тем регионом, к которому она относится. Это обстоятельство порождает формирование дифференциального эффекта или, в трактовке В.П. Дронова «инфраструктурно-рентный дифференциальный эффект», что означает возможность инфраструктурно насыщенным территориям получать больший экономический эффект ведения народнохозяйственной деятельности по сравнению с регионом со слабо-развитой транспортной инфраструктурой [1].

Важное значение в регионе имеет водный транспорт, являясь единственной доступной альтернативой воздушному в организации северного завоза, а также обеспечивая доставку грузов в районы добычи нефти и газа по рекам Обь-Иртышской воднотранспортной системы. Основные судоходные пути расположены в бассейнах Оби и Енисея, при этом климатические условия позволяют осваивать грузооборот с мая по сентябрь. В зависимости от уровня выпавших осадков, а также при пересыхании рек, может варьироваться глубина оси судового хода, что напрямую сказывается на пропускной способности участка. Крупные речные порты находятся в Новосибирске, Тобольске, Омске, Томске, Сургуте и Барнауле.

Большая часть рек Обь-Иртышского бассейна судоходна [3], однако, существенным недостатком судоходных рек Обь-Иртышского бассейна считается отсутствие связи их со смежными бассейнами, попытки создания которых предпринимались не раз, но так и не были осуществлены. В 1893 г. был сооружен водораздельный канал между реками Кеть (приток Оби) и Кас (приток Енисея), однако он почти сразу утратил значение, так как не был обеспечен питанием. Предложенные ранее проекты по устройству водных путей, связывающих реки Сибири и Европейской части России, в том числе создание Трансуральской

водной магистрали, соединяющей Обь и Волгу, также не были осуществлены [6].

Несмотря на отсутствие межбассейновых связей, Обь-Иртышский бассейн через акваторию Обской губы имеет выход к маршруту СМП, что при должном уровне развития последнего может стать окном региона во внешний мир, тем более, что начало уже положено – в 2013 году на западном берегу Обской губы Карского моря первые грузовые суда принял морской порт Сабетта. Уже сейчас это положительно сказалось на динамике грузооборота (таблица 1).

*Таблица 1 – Отправление грузов водным транспортом в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности за 2017 год, тыс. т (по данным Росморречфлота)*

Показатель	Период					
	январь	январь-февраль	январь-март	январь-апрель	январь-май	январь-июнь
Отправлено грузов водным транспортом всего	125,4	298	473,3	739,8	3510,8	7293,2
в том числе:						
– морским	125,4	298	473,3	676,7	920,3	1277,7
– внутренним водным	–	–	–	63,1	2590,5	6015,5
из них:						
– сухогрузов	100,5	247,5	389,1	632	2862,8	5759,2
– наливных грузов	24,9	50,5	84,2	107,8	305	756,1

Несмотря на то, что в момент написания статьи навигация находится в самом разгаре – и впереди еще 4 продуктивных месяца работы, уже освоено 43% от общего грузооборота (таблица 2) прошлых лет и есть все основания судить о вероятном превышении пика завоза грузов в 2017 году за семнадцатилетний период, пришедшегося на 2011 год.

*Таблица 2 – Перевозки грузов и грузооборот внутреннего водного транспорта по видам сообщения*

Показатель	Годы							
	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Перевезено грузов всего, млн. т	105,7	108,3	102,4	126,2	140,5	134,9	119,1	121,4
В том числе в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности с ограниченными сроками завоза грузов	14,2	11,8	18,1	20,5	20,1	17,0	17,0	17,0
Доля грузов в районы Крайнего Севера от общего количества грузов, %	13,4	10,9	17,7	16,2	14,3	12,6	14,3	14,0

Как видно из расчетов, максимумы и минимумы перевезенного количества грузов в целом по стране и в районы Крайнего Севера не совпадают – если по северному завозу пик пришелся на 2010 год, в то время как в этот же год было перевезено минимальное количество грузов в целом по стране, а больше всего их перевезено в 2012 году. Необходимо также отметить, что последние несколько лет доля арктических грузов отличается стабильностью, чего не скажешь об этом показателе в целом по стране – за 4 предшествующих года колебания достигали 16%.

Создание морского порта в акватории Обской губы повышает привлекательность морского транспорта, предоставляет возможность превращения его в качестве опорного пункта СМП, что стало очевидным после начала завершающего этапа работ глубоководного морского порта Сабетта в одноименном поселке, ставшего результатом разработки и масштабного освоения месторождения Южно-Тамбейского, расположенного на севере полуострова. Новый порт призван обеспечить круглогодичную навигацию судов танкерного типа по Северному морскому пути как в западном, так и в восточном направлениях.

Общие характеристики порта:

- подходной канал длиной 6 км, шириной 495 м;
- морской канал длиной 49 км, шириной 295 м;
- акватория порта, а также оба канала имеют отметку дна минус 15,2 м.

Общий объем дноуглубительных работ составляет порядка 70 млн. м<sup>3</sup>. В состав морского порта также входит морской терминал «Мыс Каменный» [4].

В условиях отсутствия альтернативных вариантов транспортировки того же природного газа, коим богат север Сибири в страны АТР, где сегодня максимальный спрос на него, мор-

ской транспорт представляется единственно возможным. Поворот на восток, начавшийся после саммита АТЭС 2012 г., в преддверии которого Путин В.В., призвал «поймать китайский ветер в паруса нашей экономики» [5], продиктован не только экономическими соображениями в части экспорта углеводородного сырья, но и желанием улучшить инвестиционный микроклимат в изолированных северных территориях, требующих качественно новых инвестиционных проектов.

Железнодорожная сеть в регионе достаточно развита и представлена Транссибирской (Челябинск-Омск-Новосибирск-Красноярск), Среднесибирской (Иртышская-Корсун-Каменьна-Оби -Алтайская) и Южно-Сибирской (Кулунда-Барнаул-Артыша-Новокузнецк-Тайшет) магистральями, на севере формирование сети продолжается, поскольку суровые климатические условия предопределяют интенсивное развитие всепогодных видов транспорта и в первую очередь наземных – железнодорожного, автомобильного и трубопроводного. Тенденцией последних лет является повышение доли воздушного транспорта – по сравнению с 2000 г. грузооборот увеличился в 2,2 раза, при этом объем транспортной продукции в международном сообщении вырос почти в три раза [2].

Плотность автомобильных дорог с твердым покрытием невелика, их основная доля сосредоточена в южной и центральной частях региона. Развитие автомобильного транспорта осуществляется за счет освоения новых месторождений, а также с целью организации подвоза грузов к железнодорожным станциям, портам, причалам. Наложил свой отпечаток на автомобильную инфраструктуру историческая особенность развития России, которое осуществлялось по централизованному типу – благодаря такой модели сеть автомобильных дорог разрослась в виде огромной звезды, оси которой берут свое начало в столице.

В целом, транспортная система северных регионов Сибири обладает достаточно большой грузонапряженностью и имеет ряд специфических особенностей, которые возможно при правильном администрировании превратить в конкурентные преимущества и использовать с целью повышения основных социально-экономических показателей региона. В ближайшей перспективе необходимо снять колониальное клеймо с Сибири, о котором начали говорить еще в XVIII веке – например, один из знаменитых мемуаристов Ф.Ф. Вигель говорил: «Сибирь, как медведь, сидит у России на привязи», большевики называли Сибирь «колонией в экономическом смысле», а эта легкая степень пренебрежения не дает создать благоприятные возможности для роста инвестиционного капитала.

Географическое положение, а также природные богатства дают возможность Сибири связывать континенты между собой тесными экономическими связями, выступая на рынке транзитных перевозок в качестве надежного и стратегического партнера, но становится возможной такая международная интеграция лишь при синхронизации развития транспортной системы с обязательным включением в нее всех видов транспорта и транспортно-логистических комплексов, отвечающим современным требованиям. С целью сокращения качества транспортного обслуживания, необходимо опираться на ключевой элемент перспективной политики в ближайшие десятилетия – дерегулирование. Такая мера была принята на вооружение, например, на Дальнем Востоке на функционирующих площадках ТОСЭРов (территорий опережающего социально-экономического развития). Именно этот механизм считается прорывным в преодолении бюрократических барьеров, стоящих на пути привлечения инвестиционного капитала на север Сибири, потенциал которого огромен.

При этом, опыт экономически благополучных стран должен находить свое отражение в «Стратегии экономического и социального развития Сибири на период до 2025 года» с целью определения приоритетных стратегических направлений развития, устранения высокого уровня транспортной дискриминации населения и создания качественно новых транспортных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Амиров, М.Ш. Единая транспортная система: учебник / М.Ш. Амиров, С.М. Амиров. -2-е изд. -М.: КНОРУС, 2017. -178 с.
- 2 Махутов, Н.А. Безопасность железнодорожного транспорта в условиях Сибири и Севера: Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты / Н.А. Махутов и др. -М.: МГОФ «Знание», 2014. -856 с.
- 3 Сравнительная характеристика рек России. -Режим доступа: <http://vsereki.ru/interesnoe-o-rekax/sravnitel'naya-kharakteristika-rek-rossii>. -20.07.2017

REFERENCES

- 1 Amirov M.Sh., Amirov S.M., Unified transport system [*Единая транспортная система*]. Moscow: KNORUS Publ. 2017. 178 p.
- 2 Makhutov N.A., Safety of rail transport in the conditions of Siberia and the North [*Безопасность железнодорожного транспорта в условиях Сибири и Севера*]. Moscow: Znanie Publ. 2014. 856 p.
- 3 Main characteristics of rivers in Russia [*Сравнительная характеристика рек России*]. URL: <http://vsereki.ru/interesnoe-o-rekax/sravnitel'naya-kharakteristika-rek-rossii>. - July 20, 2017
- 4 Port of Sabetta [*Порт Сабетта*]. URL: <http://www.skmost.ru/objects/gidro/port-sabetta/>. -December 23,



4 Порт Сабетта. -Режим доступа: <http://www.skmost.ru/objects/gidro/port-sabetta/>. -23.12.2016  
5 Бордачев, Т.В. Поворот на Восток: Развитие Сибири и Дальнего Востока в условиях усиления азиатского вектора внешней политики России / Т.В. Бордачев, Е.А. Канаев, Ю.О. Литвинова. Отв. ред. И.А. Макаров. -М.: Международные отношения, 2016. -448 с.  
6 Хозяйственное значение и использование вод. - Режим доступа: <http://пуста.рф/article.php?nid=347211>. - 08.05.2017

2016

5 Bordachev T.V., Kanaev E.A., Litvinova Yu.O., Turning to the East: Development of Siberia and the Far East in the context of strengthening the Asian vector of Russia's foreign policy [*Povorot na Vostok: Razvitie Sibiri i Dal'nego Vostoka v usloviyakh usileniya aziatskogo vektora vneshney politiki Rossii*]. Moscow: Mezhdunarodnye otnosheniya Publ. 2016. 448 p.

6 Economic importance and use of water [*Khozyaystvennoe znachenie i ispol'zovanie vod*]. URL: <http://пуста.рф/article.php?nid=347211>. -May 8, 2017

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

*транспортная инфраструктура, степень развития, Сибирь, взаимодействие*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:**

*Виниченко Виктория Александровна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:**

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

---

## КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ УРОВНЕЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЯДА НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

С.В. Моторин, Н.В. Голышев, А.А. Зуева

### SHORT-TERM STREAMFLOW FORECASTING BASED ON NEURAL NETWORK

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

Sergey V. Motorin (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

Nikolay V. Golyshev (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

Anastasiya A. Zueva (Master's Degree of SSUWT)

**ABSTRACT:** This paper raises the results of the development of the artificial neural network for short-term forecasting of streamflow. The capabilities of the neural network are tested using model and realistic streamflow conditions. Selection of network parameters and forecast error calculation are carried out. Software has been developed for short-term streamflow forecasting.

**Keywords:** streamflow, neural network, short-term forecast

Приведены результаты разработки искусственной нейронной сети для краткосрочного прогнозирования уровней гидрологических рядов. Возможности нейронной сети проверены при использовании модельных и реальных гидрологических рядов. Проведены выбор параметров сети и оценка погрешности прогноза. Разработан программный модуль для краткосрочного прогноза гидрологического ряда.

В настоящее время для прогнозирования временных рядов широко применяются методы статистического прогнозирования, основанные на моделях авторегрессии [1, 2]

$$q(n) = -\sum_{k=1}^N a_k(k) \cdot q(n-k) + \sum_{k=0}^M b_k \cdot \varepsilon(n-k), \quad (1)$$

где  $n$  – номер (индекс) результата измерения уровня ряда,  $n = 1, 2, \dots$ ;

$\varepsilon(n)$  – модель ошибок измерений в виде последовательности отсчетов белого шума с нормальным (гауссовским) законом распределения, нулевым средним значением и единичной дисперсией;

$q(n)$  – сигнал возбуждения системы;

$a_k, b_k$  – коэффициенты модели.

Для реализации прогноза на основе модели (1) необходимо иметь информацию о статистических характеристиках возбуждающего процесса и модели шума. Кроме того обычно предполагается стационарность временного ряда [2].

В ряде областей такая информация, как правило, доступна или может быть получена. Например, в теории управления техническими системами. Здесь используется, либо стационарная модель, либо нестационарная, но с известными статистическими параметрами [2]. Для оценивания применяются стационарные и нестационарные фильтры Калмана и рекуррентные оценки по методу наименьших квадратов [4, 5].

В гидрологии необходимые статистические характеристики, как сигналов, так и параметров объекта, как правило, неизвестны, либо известны с точностью до интервалов и средних значений. Неполнота имеющейся информации о объекте, обусловлена как недостаточностью знаний о объекте, так и изменчивостью его параметров, приводящая к быстрому устареванию имеющихся данных, а так же высокая стоимость и сложность их сбора.

Так, как гидрологический ряд порождается реальным объектом, то он содержит информацию о структуре и внутренних связях объекта, в этом смысле этот временной ряд не является набором независимых между собой чисел [3]. Если вся доступная измерению информация содержится в предыдущих значениях ряда, то уравнение прогноза является известной функцией

$$\bar{q}(n+1) = \varphi(q_n, q_{n-1}, \dots, q_{n-P}), \quad (2)$$

где  $P$  – количество предыдущих известных значений ряда.

Учитывая, что измерения уровней ряда производятся со случайной погрешностью уравнение (2) является стохастическим.

С учетом изложенного, задача прогнозирования уровней гидрологического ряда сводится к прогнозированию характеристик сложного объекта с переменными параметрами в усло-

виях неполной и неточной информации. В таких условиях большое значение приобретает робастность получаемых оценок, то есть обеспечение слабой чувствительности оценок прогноза к неточности модели и погрешностям в исходных данных [5].

**Выбор модели формирования прогноза и способа его реализации.** На практике при отсутствии необходимой информации экстраполяция временного ряда производится наивным способом по принципу – «что было сегодня, то будет и завтра»  $\hat{q}_{n+1} = q_n$ , либо определением скользящего среднего, либо путем оценивания тренда ряда по  $P$  предыдущим известным значениям ряда при наложении ограничений на вид функции (1) и количество учитываемых значений.

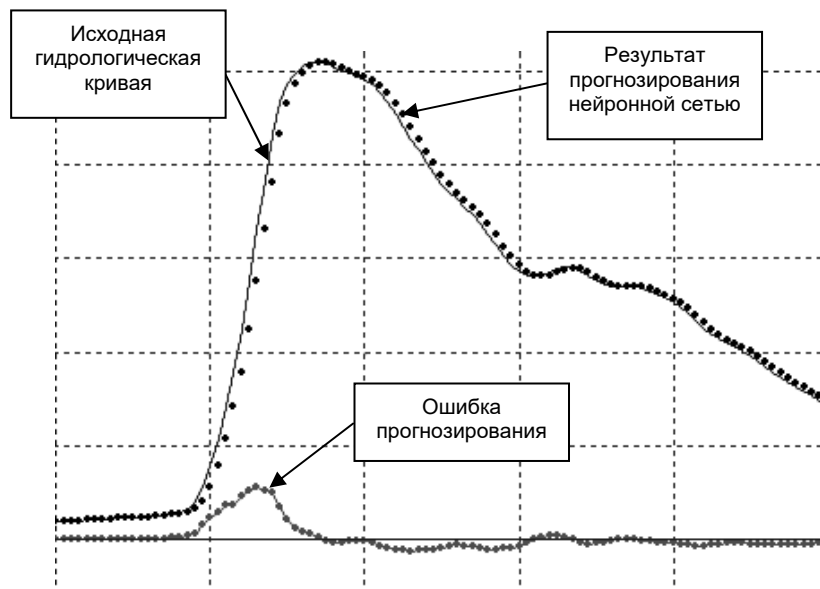


Рисунок 1 – Текущая ошибка прогноза на один день вперед реального гидрологического ряда при  $P = 1$

Если на интервале оценки тренда считать, что неизвестную функцию (2) можно аппроксимировать линейной, а гидрологический ряд практически стационарным  $a_k(k) = a_k$ , то уравнение модели (1) можно привести к виду

$$q(n) = -\sum_{k=1}^P a_k \cdot q(n-k) + \varepsilon_n, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_n$  – случайная величина которая описывает несовершенство модели представления расхода в виде линейной функции от  $P$  – переменных и погрешности измерений уровней ряда [2, 3].

Предположение о стационарности ряда ограничивает количество предыдущих значений ряда, входящих в оценку прогнозируемого значения ряда.

Известно, что робастной оценкой тренда временного ряда (3) является линейная оценка методом наименьших квадратов на интервале стационарности ряда. Соответствующие уравнения можно представить в следующем виде

$$Q_n = [w_n \quad b_n] \cdot T_n, \quad (4)$$

где  $Q_n = [q_n, q_{n-1}, \dots, q_{n-P}]$ ;  $T_n = \begin{bmatrix} t_n & t_{n-1} & \dots & t_{n-P} \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$ .

Система  $P$ -уравнений (4), в общем случае переопределенная, и ее решение в смысле метода наименьших квадратов дается формулой

$$\begin{bmatrix} w_n \\ b_n \end{bmatrix} = [T_n \cdot T_n^T]^{-1} \cdot T_n \cdot Q_n^T. \quad (5)$$

Прогноз на один шаг вперед осуществляется линейной экстраполяцией в соответствии с уравнением

$$\hat{q}_{n+1} = [w_n \quad b_n] \cdot \begin{bmatrix} t_{n+1} \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Последовательность уравнений (4)-(6) является решением задачи получения робастно-

го прогноза уровней ряда на основе модели (3).

Для реализации прогноза в настоящей работе была использована искусственная нейронная сеть, представляющая собой слой нейронов с линейной функцией активации и линией задержки на входе [6, 8].

Наличие линии задержки в нейронной сети позволяет организовать процесс решения системы уравнений (5) по алгоритму работы сети – поиску минимума суммы квадратов ошибок (7) на каждом такте функционирования сети.

$$J(w_n, b_n) = \sum_{j=0}^P (\varepsilon_{n-j})^2, \quad (7)$$

где  $\varepsilon_{n-j} = q_{n-j} - w_n \cdot t_{n-j} - b_n$ ;  
 $j = 1, 2, \dots, P$ .

Известно, что в математическом плане эти задачи эквивалентны. К преимуществу подхода, принятого в нейронной сети является исключение процедуры обращения матриц, что повышает устойчивость работы алгоритма.

**Результаты исследований.** Для оценки погрешности прогноза была использованы данные моделей гидрологических рядов

$$u(t) = \frac{1}{(a \cdot t - 100 \cdot b)^2 + 0,01} + \frac{1}{(c \cdot t - 100 \cdot d)^2 + 0,02}, \quad (8)$$

где  $u(t)$  – уровень воды;

$a, b, c, d$  – эмпирические коэффициенты, а также данные реальных гидрологических рядов, полученных на водомерном посту реки Обь в разные годы.

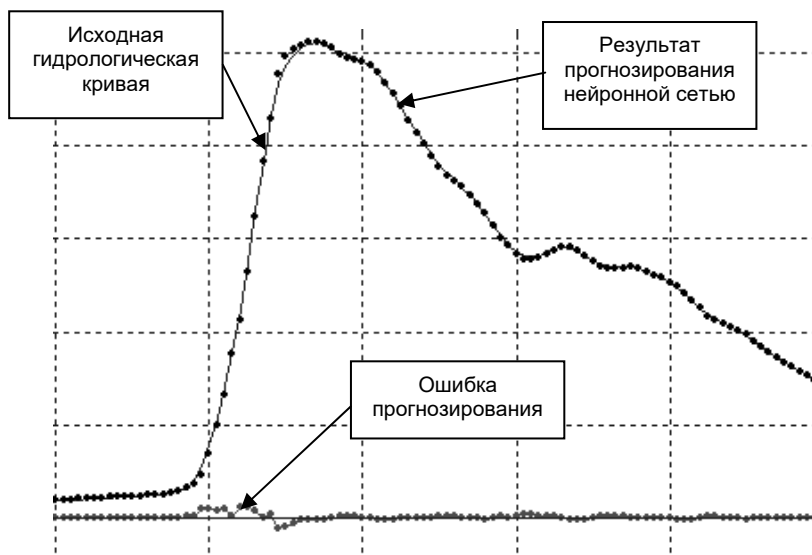


Рисунок 3 – Текущая ошибка прогноза на один день вперед реального гидрологического ряда при  $P = 3$

Измерения уровней воды проводились ежедневно.

Возможности нейронной сети проверены при использовании реальных гидрологических рядов. На рисунке 4 приведены зависимости нормированной средней квадратической ошибки прогноза в зависимости от количества используемых для прогноза данных уровней реальных гидрологических рядов, зарегистрированных на одном водомерном посту за ряд лет. Расчет проводился по формуле

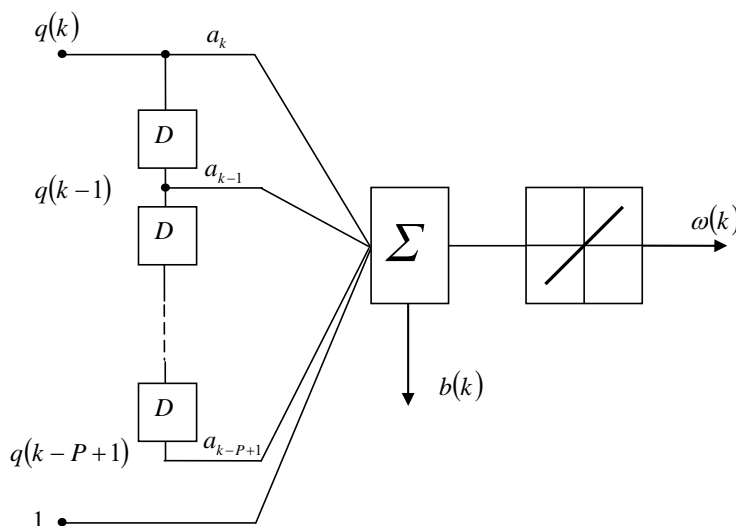


Рисунок 2 – Структурная схема искусственной нейронной сети с линией задержки

$$\eta(P) = \frac{mse(P)}{mse(1)},$$

где  $mse(P)$  – значение средней квадратической ошибки прогноза сети при значении  $P$ .

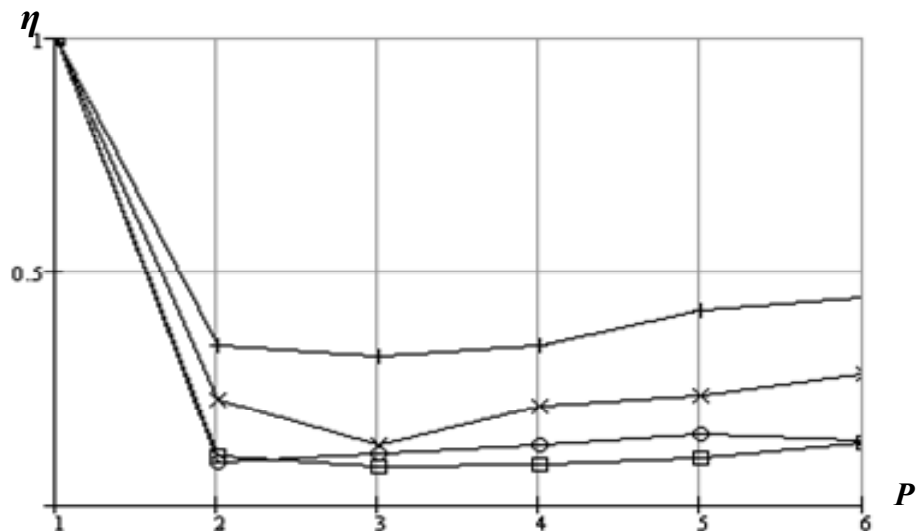


Рисунок 4 – Зависимость нормированной средней квадратической ошибки прогноза от  $P$  для различных гидрологических рядов

Как видно из рисунка 4 переход от  $P = 1$  к  $P = 2, 3$  вызывает резкое уменьшение средней квадратической ошибки прогноза. Дальнейшее увеличение количества предыдущих значений рядов  $P = 3, 4$  не оказывает существенного влияния на уровень ошибки. При  $P > 4$  ошибка прогноза в некоторых случаях увеличивается.

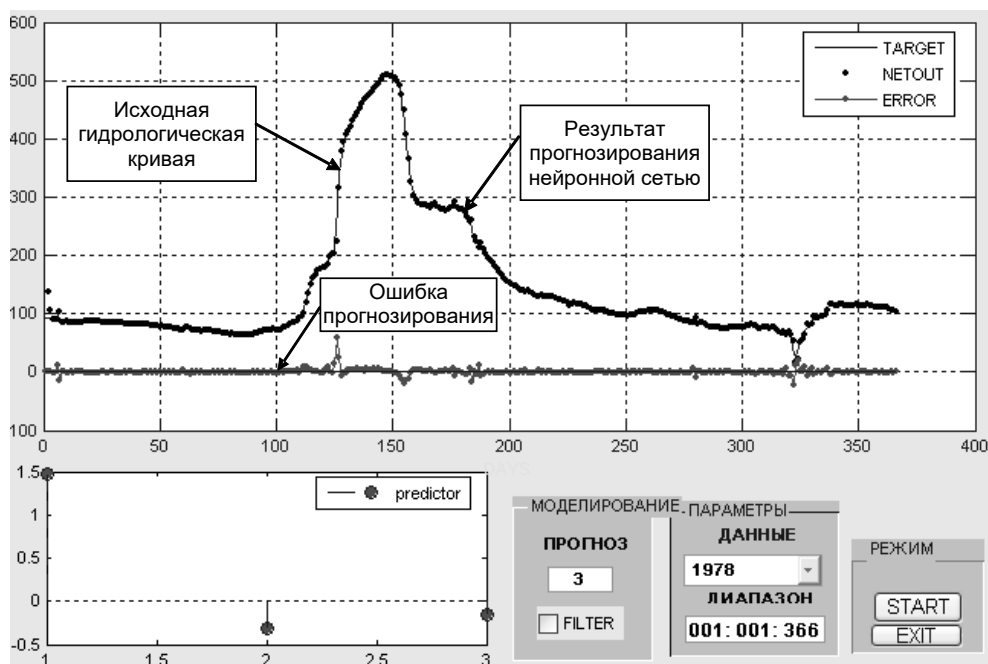


Рисунок 5 – Интерфейс программного модуля для краткосрочного прогноза уровней гидрологических рядов

Возрастание ошибки прогноза при увеличении количества учитываемых в прогнозе предыдущих значений ряда можно объяснить нарушением предположения о квазистационарности ряда и ограниченностью линейной модели прогноза.

Приведенные на рисунке графики качественно верно описывают тенденции поведения и для других гидрологических рядов, использованных в эксперименте. Таким образом, выбор оптимального значения параметра  $P$  необходимо производить на основе наблюдений гидрологических рядов на конкретных водомерных постах.

Для обработки и краткосрочного прогноза уровней гидрологических рядов разработан программный модуль, который может быть использован, как для прогнозирования гидрологических рядов, так и для выбора оптимальных значений параметров линии задержки нейронной сети. Внешний вид интерфейса программного модуля приведен на рисунке 5.

**Выводы.** В работе показано, что искусственная нейронная сеть с линией задержки на входе и линейными передаточными функциями может быть использована для текущего одношагового прогнозирования уровней гидрологических рядов в условиях недостаточной информации о районе сбора стока и его характеристиках. При проведении прогноза используются только данные предыдущих значений уровней ряда.

Оценки точности прогноза проведены при использовании реальных гидрологических рядов. Показано, что оптимальное по критерию минимума средней квадратической ошибки количество элементов линии задержки нейронной сети лежит в пределах 2-4. В разработанном программном модуле имеется интерфейс для реализации нейронной сети и оптимизации ее параметров, а также для проведения прогнозирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Льюнг, Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. Пер. с англ. / Л. Льюнг. пер. под редакцией Я.З. Цыпкина. -М: Наука, 1991 -432 с.  
 2 Ермаков, С.М. Математическая теория оптимального эксперимента / С.М. Ермаков, А.А. Жиглянский. -М: Наука, 1997. -320 с.  
 3 Ллойд, Э. Справочник по прикладной статистике. Пер. с англ. / Э. Ллойд, У. Ледерман, пер. под редакцией С.А. Айвазяна и Ю.М. Тюрина. -М: Финансы и статистика, 1990, -Т.2, -526 с.  
 4 Сейдж, Э. Теория оценивания и ее приложения в связи и управлении. Пер. с англ. / Э. Сейдж, Дж. Мейдж, пер. под редакцией Б.Р. Левина. -М: Связь, 1976. -496 с.  
 5 Голышев, Н.В. Рекуррентное оценивание моментов случайных последовательностей фильтром Калмана / Н.В. Голышев, С.В. Моторин, Д.Н. Голышев // Мат-лы VI межд. науч.-практ. конф.: Инф. технол., сис-мы и приборы в АПК «АГРОИНФО-2015» (22-23 окт. 2015). -Новосибирск: Изд-во Сиб. физ.-техн. ин-т аграрн. проб., 2015. -Ч.2., -С.177-184.  
 6 Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского. -М.: Финансы и статистика, 2004. -343 с.  
 7 Голышев, Н.В. Проблемы и перспективы использования нейронных сетей в решении сельскохозяйственных задач / Н.В. Голышев, С.В. Моторин, Д.Н. Голышев // Мат. межд. научн.-практ. конф.: Информ. Технолог., информ.-измер. сист. и приб. в исслед. сельскохоз. процес «АГРОИНФО-2003» (22-23 окт. 2003-Новосибирск: Изд-во Сиб. физ.-техн. ин-т аграрн. проб., 2003. -Ч.2. -С. 127-129.  
 8 Голышев, Н.В. Использование нейронных сетей для решения задач прогнозирования / Н.В. Голышев, С.В. Моторин, Д.Н. Голышев // Сиб. науч. вест. VI (Сиб. отд-ние Рос. Акад. естеств. наук). -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2003. -С. 179-181.

1 Ljung, L, *System Identification - theory for the user*. Prentice Hall. 1987.  
 2 Ermakov S.M., Zhiglyanskiy A.A., *Mathematical theory of optimal experiment [Matematicheskaya teoriya optimal'nogo eksperimenta]*. Moscow: Nauka Publ. 1997. 320 p.  
 3 Lloyd, E. (Ed.); Chief Editor: W. Ledermann, *Handbook of Applicable Mathematics*, Volume VI: Statistics, Part B. Chichester, New York u.a., John Wiley, 1984. ISBN: 0471902721 / 0-471-90272-1.  
 4 Andrew P. Sage and James L. Melsa, *Estimation Theory with Applications to Communications and Control*. McGraw-Hill Inc., US - 1971 – Hardcover – ISBN 10: 0070544298 / ISBN 13: 9780070544291.  
 5 Golyshev N.V., Motorin S.V., Golyshev D.N., Recursive estimation of random sequence moments by the Kalman filter [Rekurrentnoe otsenivanie momentov sluchaynykh posledovatel'nostey fil'trom Kalmana]. Information technology, systems and devices in agro-industry [Informatsionnye tekhnologii, sistemy i pribory v APK]. Novosibirsk: Siberian Physical-Techn. Inst. of Agrarian Problems Publ., 2015. Vol. 2, pp.177-184.  
 6 Osovskiy S., *Neural networks for information processing [Neironnyye seti dlya obrabotki informatsii]*. Warsaw. 2000.  
 7 Golyshev N.V., Motorin S.V., Golyshev D.N., Issues and prospects of using neural networks in agro-industry [Problemy i perspektivy ispol'zovaniya neyronnykh setey v reshenii sel'skokhozyaystvennykh zadach]. Information technology, data measuring systems and devices in study of agricultural processes [Informatsionnye tekhnologii informatsionno-izmeritel'nye sistemy i pribory v issledovanii sel'skokhozyaystvennykh protsessov]. Novosibirsk: Siberian Physical-Techn. Inst. of Agrarian Problems Publ. 2003. Vol. 2. pp. 110-115.  
 8 Golyshev N.V., Motorin S.V., Golyshev D.N., Using neural networks for solving the issues of forecasting [Ispol'zovanie neyronnykh setey dlya resheniya zadach prognozirovaniya]. *Sibirskiy nauchnyy vestnik*. Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad. Water Trasp. Publ., 2003. Vol. 6. pp. 179-181.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** гидрологический ряд, нейронная сеть, краткосрочный прогноз  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Моторин Сергей Викторович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 Голышев Николай Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 Зуева Анастасия Александровна, магистрант ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

## АНАЛИЗ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ ПО РУКАВАМ КЫЛЛАХСКО-ОЛЁКМИНСКОГО УЗЛА ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Т.Н. Михайлова, Т.В. Пилипенко, Н.П. Ахматова, **М.Г. Фоминых**

ANALYSIS OF THE RIVER FLOW DISTRIBUTION THROUGH DISTRIBUTARIES AT KYLLAKH-OLYOKMINSK SECTOR FOR LONG-TERM PERIOD

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia  
 Tat'yana N. Mikhaylova (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

**Tat'yana.V. Pilipenko** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

**Natal'ya P. Akhmatova** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

**Mikhail .G. Fominykh** (Master's Degree of SSUWT)

---

**ABSTRACT:** This reach of the Lena River consistently cannot maintain minimum sufficient waterway depths and, respectively, navigation. The analysis of the redistribution of water flow through the distributaries of Kyllakh-Olyokminsk sector for a long-term period is performed.

**Keywords:** *straightening facilities, design water level, flow rate, straightening, dredging*

---

На данном участке реки Лена регулярно происходит срыв гарантированных глубин и, соответственно, судоходства. Проведен анализ перераспределения расхода воды по рукавам Кыллахско-Олёкминского узла за многолетний период.

Река Лена является главной магистралью Якутии, по которой выполняется завоз народнохозяйственных грузов в отдалённые районы Восточной Сибири, включая самые северные.

Кыллахско-Олёкминское разветвление расположено в пределах среднего течения Лены между 2300 и 2258 км от её устья и относится к плёсу Витим - устье Олёкмы, имеющему протяжённость 625 км. В пределах плёса расположено 23 переката, причём самые затруднительные для судоходства находятся в нижней части. К их числу относятся и пять перекатов Кыллахского узла: Корниловская Курья (2299-2296 км), Кыллах (2291-2283 км), Тюбя (2281-2273 км), Верхний Олёкминский (2272-2265 км) и Олёкминский (2265-2258 км).

На этом участке происходит расширение дна долины реки, которое называется Кыллахский или Олёкминский разбой. В его пределах долина достигает максимальной ширины 12,5 км, что почти в 5,7 раз превышает ширину дна долины одорукавного русла у г.Олёкминска.

Сложные разветвления русла представлены рядом рукавов, из которых три основных образуют субпараллельные протоки. В верхней части участка, на 2300 км, начинается левая Бердинская протока длиной 20 км, которая отделяет от поймы группу островов Кыллах и Ой-Ары (Касьян), практически соединённых в единый массив. Она отходит от основного русла под углом около 60°, идёт практически прямолинейно, при расширении верхней части происходит её вторичное деление и образуются несколько островов. В межень Бердинская протока маловодна.

Правый, судоходный, наиболее широкий рукав, в верхней части является продолжением основного русла, затем резко поворачивает налево и здесь расширяется. При этом на 2293 км возникает многорукавное разветвление второго порядка островом Кербим (Кырбыйдах).

Правый рукав вторичного разветвления, Кырбыйдахская протока, представляет собой крутую врезанную излучину практически полукруглой формы с радиусом кривизны 2500 м, проходящую вдоль высокой Песчаной горы, расположенной на правом берегу.

Левый рукав вторичного разветвления прямолинейный, в нижней части он равномерно расширяется в два раза. Здесь расположено ещё одно разделение русла (второго порядка) идущими цепочкой островами Уэс-Кумах и Тагы на два рукава: левую Тагынскую и правую Песчаную протоки.

Ниже о.Тагы рукава вторичного разветвления соединяются, правый рукав первичного разветвления сужается до первоначальной ширины и далее идёт единым руслом, изгибаясь вправо. В нижней части, в районе расположения узкого о.Ой-Ары (Касьян), правый рукав следует прямо и параллельно Бердинской протоке до слияния с ней. При этом наблюдается расширение русла. Затем русловой поток идёт единым руслом прямолинейно до Олёкминского переката, располагающегося на повороте реки влево.

Следствием блуждания русла в пределах расширения дна долины является образование массивов береговой и островной поймы. Пойма в основном имеет среднюю высоту, от 5 до 9 м, и затапливается в средневысокое половодье. Самый крупный островной массив состоит из островов Кыллах и Ой-Ары (Касьян), имеет вытянутую форму, его наибольшая ширина составляет 4 км, общая длина – около 18 км. Следующий по величине о. Кербим (Кырбыйдах) имеет трапецевидную форму, ширину – 2,35 км, длину – 4,2 км. Все острова пойменные, имеют повышенные отметки поверхности у приверха и низкие в ухвосте. Некоторые острова, например Кыллах, часто подвержены затоплению с ухвостья. При возникновении на участке ледовых заторов происходит затопление более высоких участков поймы и приверхов островов.

Ранее распределение расходов воды по рукавам вторичного разветвления островами



Кербим (Кырбыйдах), Уэс-Кумах и Тагы было рассчитано в 1976 г. для проектного (3400 м<sup>3</sup>/с) и руслоформирующих расходов (9500 и 13700 м<sup>3</sup>/с). А в конце августа 1982 г. и в 2013 г. проводились измерения расходов воды в рукавах Кыллахского узла.

По результатам русловых исследований, проведённых летом и осенью 2016 г. был выполнен расчёт распределения расхода воды по рукавам разветвления для двух случаев: высокой межени и стояния проектного уровня. Для первого случая был принят расчётный уровень воды +260 см по г/п Олёкминск, соответственно расчётный расход составил 6900 м<sup>3</sup>/с. Для второго случая проектный уровень по Олёкминскому г/п равен +60 см, расход – 3400 м<sup>3</sup>/с.

Для расчёта распределения расхода воды по рукавам многоузлового разветвления была составлена схема (рисунок 1), на которой были выделены восемь рукавов.

Каждый рукав был разделён на расчётные участки поперечными сечениями, которые намечались с учётом рельефа дна. В каждом расчётном участке рассчитывались средние морфометрические и гидравлические характеристики: площадь, средняя глубина, модуль расхода и модуль сопротивления. Затем модуль сопротивления каждого рукава определялся суммированием.

Основная система уравнений для расчёта распределения расхода состоит из восьми уравнений, в которые входят четыре уравнения баланса расходов в узлах деления и соединения потоков, одно уравнение равенства расходов в первом и восьмом рукавах и три уравнения равенства падений уровня воды по замкнутым контурам:

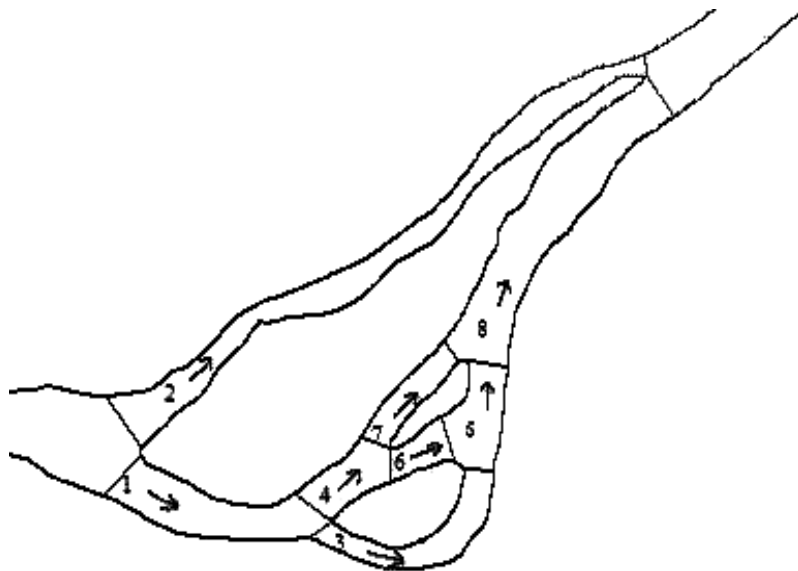


Рисунок 1 – Схема многоузлового разветвления: 1-правый рукав разветвления о.Кыллах; 2-Бердинская протока; 3-Кырбыйдахская протока; 4-левая протока между о.Кыллах и о.Кербим (Кырбыйдах); 5-правая протока между о.Уэс-Кумах, о.Тагы и правым берегом; 6-Песчаная протока; 7-Тагынская протока; 8-нижняя часть правого рукава разветвления о.Кыллах

$$Q_0 = Q_1 + Q_2; Q_1 = Q_3 + Q_4; Q_4 = Q_6 + Q_7; Q_5 = Q_6 + Q_3; Q_1 = Q_8;$$

$$\Delta Z_2 = \Delta Z_1 + \Delta Z_3 + \Delta Z_5 + \Delta Z_8; \Delta Z_4 + \Delta Z_7 = \Delta Z_3 + \Delta Z_5.$$

Решение системы уравнений методом двойной итерации дало возможность получить расходы воды и падение уровня воды в рукавах для высокой межени и проектного уровня, приведённые в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение расходов воды по рукавам многоузлового разветвления

№ рукава	1	2	3	4	5	6	7	8
Высокая межень (H = 260 см, Q = 6900 м <sup>3</sup> /с)								
Расход воды Q, м <sup>3</sup> /с	5651	1249	2499	3152	3431	932	2220	5651
Падение уровня воды ΔZ, м	0,478	2,532	0,958	0,741	0,372	0,217	0,589	0,724
Проектный уровень (H = 60 см, Q = 3400 м <sup>3</sup> /с)								
Расход воды Q, м <sup>3</sup> /с	3153	247	1719	1434	1806,9	87,9	1346,1	3153
Падение уровня воды ΔZ, м	0,958	10,317	4,173	1,554	1,944	2,618	4,568	3,263

## ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

При анализе полученных результатов было проведено сравнение их в процентном соотношении с расходами воды в рукавах, полученными в 1976, 1982 и 2013 гг. (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнение результатов распределения расхода воды по рукавам

№ рукава	1976 г.*, м <sup>3</sup> /с			Расход воды, % от общего			2016 г., м <sup>3</sup> /с	
	Q <sub>пр</sub> = 3400	Q <sub>рф</sub> = 9500	Q <sub>рф</sub> = 13700	в конце августа 1982 г.	высокая межень 2011 г.	на спаде половодья 2013 г.	Q <sub>пр</sub> = 3400	Q = 6900**
1	–	–	–	–	–	–	93	82
2	–	–	–	15	7	15	7	18
3	24	24	21	29	44,2	30	51	36
4	61	61	64	56	48,8	55	42	46
5	45	54	56	50	60,4	51	54	50
6	21	30	35	21	16,2	21	3	14
7	40	31	29	35	32,6	34	39	32
8	–	–	–	85	93	85	93	82

\*-значения подсчитывались из условия прохождения в 1 рукаве 85% общего стока; \*\*-при H = 260 см

По данным 1982 и 2013 гг. при разделении потока на рукава о.Кыллах в левую Бердинскую протоку в период высокой межени отвлекалось 14-15% расхода, а в основной правый рукав проходило, соответственно, 86-85%. Выполненные расчёты дают близкие результаты. В 2016 г. в период стояния уровней высокой межени в правый рукав разветвления поступает 82% от общего расхода воды, в Бердинскую протоку идёт, соответственно, 18%. Иная картина наблюдается в 2011 г. и при проектном уровне воды в 2016 г., когда расход воды в левой Бердинской протоке снижается более чем в два раза и составляет только 7% от общего расхода.

При анализе сводных данных таблицы 2 за периоды стояния высоких уровней воды ясно видно, что в верхней половине Кырбыйдахской протоки (3 рукав) наблюдается постоянное увеличение расхода воды, в настоящее время составляющее более трети общего стока в реке. Соответственно этому расход в верхней части Тагынской протоки (4 рукав) уменьшился и сейчас составляет менее половины общего расхода. Протока Песчаная (6 рукав) в начале периода наблюдений отвлекала на себя значительную часть стока (до 35% при верхнем руслоформирующем расходе), больше, чем Кырбыйдахская. В настоящее время протока обмелела, и расход в ней уменьшился до 14%. В нижней части разветвления ситуация более стабильна: в Кырбыйдахской протоке (5 рукав) постоянно проходит около половины общего стока; расход в Тагынской протоке (7 рукав) немного уменьшился, но и сейчас составляет около трети общего расхода в реке.

Так как процентное распределение расходов воды в рукавах вторичного разветвления в 1976 г. при проектном уровне вычислялось исходя из условия прохождения в Бердинской протоке 15%, то для более объективного анализа было отдельно рассмотрено вторичное разветвление и сравнены результаты расчётов только по рукавам №3-7. Для этого было пересчитано процентное соотношение расходов для 1976 и 2016 гг. (таблица 3).

Таблица 3 – Сравнение расходов воды в рукавах при проектном уровне

№ рукава	Расход воды, % от расхода в правой протоке первичного разветвления				
	3	4	5	6	7
1976 г.	28	72	53	25	47
2016 г.	54	46	57	3	43

Анализ сводных данных таблицы 3 показывает, что в верхней половине Кырбыйдахской протоки (3 рукав) при проектном уровне расход воды увеличился почти в два раза и в настоящее время составляет более половины общего расхода в протоке №1 (рисунок 1). Соответственно этому расход в верхней части Тагынской протоки (4 рукав) уменьшился и сейчас составляет менее половины от общего расхода в протоке №1. Но особенно обмелела средняя Песчаная протока (6 рукав), в которой расход уменьшился более чем в 8 раз и составляет меньше 5% общего расхода, то есть меньше точности расчёта. В нижней части разветвления ситуация более стабильна. В Кырбыйдахской протоке (5 рукав) постоянно проходит немного более половины общего расхода, с 1976 г. расход здесь увеличился всего на 4%. Расход в Тагынской протоке (7 рукав) составляет немного меньше половины расхода

в протоке №1 и, соответственно уменьшился на 4%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Исследование руслового режима реки Лены с целью обоснования мероприятий по коренному улучшению условий судоходства (Олёкминские перекаты 2258-2300 км): Отчёт №2 по науч.-исслед. раб. по договору №17/81 с Ленским бассейновым управлением пути МРФ РСФСР. -М.: Моск. Гос. Унив., 1983.

2 Гидрологические исследования и обоснование рекомендаций по оптимизации путевых работ на неустойчивых и затруднительных для судоходства участках рек Лена, Яна, Индигирка и расчёт объёмов путевых работ и необходимых финансовых затрат на увеличение гарантированных глубин судовых ходов, необходимых для бесперевалочной доставки грузов до пунктов рек Яна (п. Усть-Куйга), Индигирка (п. Белая Гора) и Колыма (п. Зырянка): Отчёт о науч.-иссл. раб. II и III этапы. -М.: Моск. Гос. Унив., 2011.

3 Гидрологическое обоснование проектных уровней воды на реках Ленского бассейна с применением современных методов исследования. Гидрологические исследования лимитирующих перекатов и устьевых участков рек северо-востока с целью выработки методов и рекомендаций по улучшению условий судоходства: Отчёт о науч.-иссл. раб. IV этап. -М.: Моск. Гос. Унив., 2013.

4 Исследование русловых процессов на Кыллахско-Олёкминском затруднительном участке р. Лена и разработка рекомендаций по оптимизации дноуглубительных и выправительных работ для обеспечения надежности трассы судового хода и снижения эксплуатационных затрат на её содержание: Отчёт о науч.-иссл. раб. -Новосибирск: Из-во Сиб. Гос. Унив. Водн. Трансп., 2016.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** выправительные сооружения, проектный уровень, расход воды, выправление, дноуглубление  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Михайлова Татьяна Николаевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
Пилипенко Татьяна Викторовна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
Ахматова Наталья Петровна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
Фоминих Михаил Геннадьевич, магистрант ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

REFERENCES

1 Investigation of the channel operation of the Lena River in order to justify measures to radically improve the conditions of navigation»: Olyokminsk channel bars (2258-2300 km) [*Issledovanie ruslovogo rezhima reki Leny s tsel'yu obosnovaniya meropriyatii po korennomu uluchsheniyu usloviy sudokhodstva Olemekminskie perekaty (2258-2300 km)*]. Moscow: Moscow. St. Univ. Publ., 1983.

2 Report on research work: Hydrological studies and justification of recommendations for optimizing engineering works on unstable and difficult for navigation areas of the rivers Lena, Yana and Indigirka. Calculation of the amount of track works and the necessary financial costs to maintain the sufficient waterway depths for the uninterrupted cargo shipping to the points of the rivers Yana (Ust-Kuyuga village), Indigirka (Belaya Gora village) and Kolyma (Zyryanka village) [*Gidrologicheskie issledovaniya i obosnovanie rekomendatsiy po optimizatsii putevykh rabot na neustoychivyykh i zatrudnitel'nykh dlya sudokhodstva uchastkakh rek Lena, Yana, Indigirka i raschet ob'emov putevykh rabot i neobkhodimyykh finansovykh zatrat na uvelichenie garantirovannykh glubin sudovykh khodov, neobkhodimyykh dlya besperevalochnoy dostavki gruzov do punktov rek Yana (p. Ust'-Kuyuga), Indigirka (p. Belaya Gora) i Kolyma (p. Zyryanka)*]. Moscow: Moscow. St. Univ. Publ., 2011.

3 Report on research work: Hydrological justification of design water levels on the rivers of the Lena basin using modern research methods. Hydrological studies of limiting bars and mouth reach of the rivers of the northeast in order to develop methods and recommendations for improving navigation conditions [*Gidrologicheskoe obosnovanie proektnykh urovney vody na rekakh Lenskogo basseyna s primeneniem sovremennykh metodov issledovaniya. Gidrologicheskoe issledovaniya limitiruyushchikh perekatov i ust'evykh uchastkov rek severo-vostoka s tsel'yu vyrabotki metodov i rekomendatsiy po uluchsheniyu usloviy sudokhodstva*] Moscow: Moscow. St. Univ. Publ., 2013.

4 Report on research work: Investigation of channel processes on the Kullakh-Olekminsk problem-plagued reach of the river Lena and development of recommendations for optimization of dredging and straightening operations to ensure the reliability of waterway and reduce the operating costs for its maintenance [*Issledovanie ruslovykh protsessov na Kyllakhsko-Olemekminskom zatrudnitel'nom uchastke r. Lena i razrabotka rekomendatsiy po optimizatsii dnoуглубительных и выправительных работ для обеспечения надежности трассы судового хода и снижения эксплуатационных затрат на её содержание: Отчёт о науч.-иссл. раб.*] -Novosibirsk: Siberian St. Univ. Water Transp. Publ. 2016.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕКАТНЫХ УЧАСТКОВ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

В.В. Шамова, Д.А. Мерзляков

RIVER SHOAL MODELING

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia  
Vera V. Shamova (Ph.D. of Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)  
Denis A. Merzlyakov (Graduate student of SSUWT)

**ABSTRACT:** Currently, the problem of finding methods and models of deformation prediction of lowland river beds is essential. A need occurs to create new models of flood forecasting.

**Keywords:** river bed, deformation, modeling, forecast, transformation scenario

В настоящее время остро стоит проблема поиска методов и моделей прогноза деформации русла равнинных рек. Возникает необходимость создания новых моделей прогноза паводковых ситуаций.

В настоящее время остро стоит проблема поиска методов и моделей прогноза деформации русла равнинных рек. Поэтому математическому моделированию в гидроморфологии посвящено многочисленное количество исследований как в нашей стране, так и за рубежом [1].

На базе Геоинформационных систем (ГИС) и алгоритмического языка можно разрабо-

тать программный комплекс для компьютерного моделирования гидравлических процессов и транспорта руслоформирующих наносов в речных руслах сложной конфигурации. Возникает необходимость создания новых моделей прогноза паводковых ситуаций, для которых используются материалы непосредственных наблюдений за потоком, учитывающих специфику равнинных рек, и факторы, оказывающие основное влияние на формирование стока. Другой важной задачей является разработки методов исследования продольного профиля русла реки и профиля гидроствора, поскольку геометрия русла также оказывает существенное влияние на изменение гидрологических характеристик потока. Решение этих задач способствует повышению точности прогнозов возникновения переформирования русла реки.

С помощью геоинформационных систем выполняется расчет поставленной задачи, основанной на применении различных алгоритмов, формул и уравнений. При этом учитывается изменение глубины русла и рельеф поймы, что позволяет автоматически получать распределение расходов воды по рукавам много рукавного русла, определять значения скоростей и глубин потока в любой точке. Кроме того, стоит вопрос по разработке методики исследования морфометрических характеристик (уклона, ширины, площади сечения) русла реки, используемых при построении моделей прогноза.

Для решения задач необходимо использовать цифровую модель рельефа, полученную путем моделирования топографической карты местности, созданной на основе натуральных данных о глубинах русла реки, уклонах водной поверхности, крупности наносов, рельефе поймы, полученных за многолетний период наблюдений на гидрологическом посту.

Разработанный программный комплекс может выполнять автоматизацию сложных вычислительных операций, связанных с расчетом расхода руслоформирующих наносов в речных руслах, и может быть использован при компьютерном моделировании русловых деформаций в результате дождевых паводков, половодий и под воздействием речных гидравлических сооружений.

Традиционные методы топографической съемки не в состоянии оперативно отражать изменчивость береговых границ русла реки. Динамичность природных и антропогенных процессов на берегах определяет направления исследований и средств их выполнения [2].

На рисунке 1 представлена 3D-модель, полученная с помощью геоинформационных технологий MapInfo (на примере Нижнего-Кудряшовского переката р. Оби).

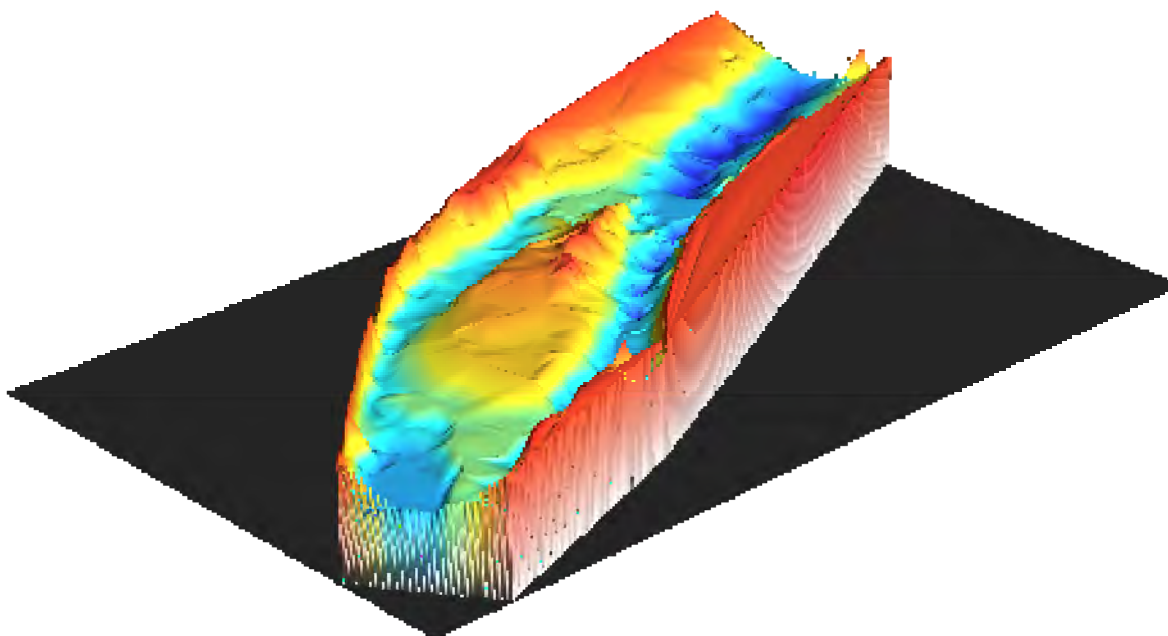


Рисунок 1 – 3D-модель Нижне-Кудряшовского переката

Моделирование 3D изображений позволяет выполнять их построение за многолетний период и осуществлять мониторинг для комплексного изучения русловых деформаций.

С помощью моделирования можно определять:

- положения береговых урезов при различных уровнях воды, прогнозирование их изменений;
- выявление зон затопления;

- выполнять наблюдение за изменением положения островов, осередков, кос, побочной;
- определять площади водных бассейнов;
- исследовать продольный профиль русел рек;
- выполнять оценку деформаций русла и определять зоны размыва и намыва за определенный период;
- проводить расчет расхода взвешенных наносов.

На рисунке 2 приведена интерполированная по заданным точкам глубин модель Нижне-Кудряшовского переката

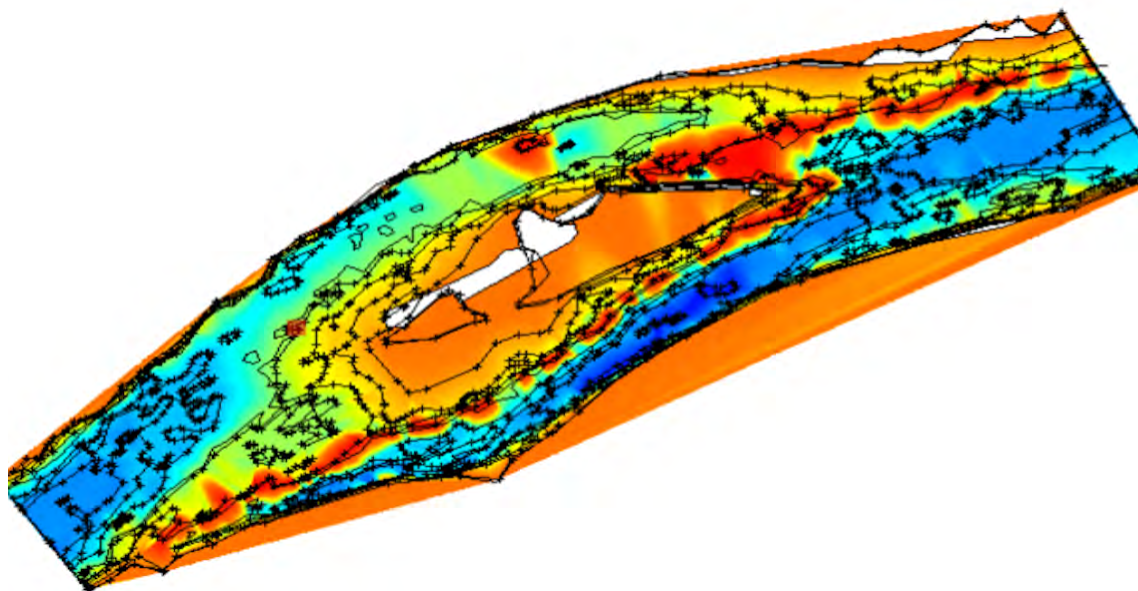


Рисунок 2 – Модель Нижне-Кудряшовского переката

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шикломанов И.А. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. Тр. Гос. Гидролог. Инст.–СПб.: Изд-во Гос. Гидролог. Инст., 2008. – 598 с.
- 2 Данилов-Данильян, В.И. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования / В.И. Данилов-Данильян, И.Л. Хранович. -М.: Науч. мир, 2010. - 229 с.

REFERENCES

- 1 Ed. by Prof. I. A. Shiklomanov, Water resources of Russia and their use [Vodnye resursy Rossii i ikh ispol'zovanie]. St Petersburg. State Hydrological Institute Publ. 2008. 600 p.
- 2 Danilov-Danil'yan V.I., Khranovich I.L., Water resources management. Water use strategic alignment [Upravlenie vodnymi resursami. Soglasovanie strategiy vodopol'zovaniya]. Moscow: Nauchnyy mir Publ. 2010. 229 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: русло реки, деформация, моделирование, прогноз, сценарий трансформации  
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шамова Вера Васильевна, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
Мерзляков Денис Андреевич, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

## ТОЧНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВКИ ЛАГА С ПОМОЩЬЮ СРНС-ПРИЁМНИКА

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

Ю.А. Комаровский

## ACCURATE DETERMINATION OF LAG CORRECTION VIA GPS RECEIVER

Maritime State University named after admiral G.I.Nevelskoi (MSU named after adm. G.I.Nevelskoi) 50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia

Yuriy A. Komarovskiy (Ph.D. of Engineering Sciences, Expert on technical issues MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

**ABSTRACT:** The way of high fidelity log correction is proposed. Maneuvering at measured mile is not required, thus the method can be applied out at sea during the passage. The estimation of speed log correction is based on measurements of the ship's absolute speed by GPS unit on several runs. This approach is explained by greater accuracy in obtaining the speed of the vessel by GPS, rather than coordinates.

**Keywords:** absolute speed, course angle, measured mile, log correction, GPS-receiver, current velocity vector

Предложен способ получения с высокой точностью поправки лага. Способ не нуждается в маневрировании на мерной линии, а поэтому может применяться в открытом море во время рейса судна. Оценка поправки лага основывается на измерениях абсолютной скорости судна GPS-приёмником на нескольких пробегах. Такой подход объясняется большей точностью получения GPS-приёмником скорости судна, нежели координат.

Практика последних лет убеждает в необходимости возвращения счисления пути судна на основе информации от лага и компаса для оперативного контроля работы судовых СРНС-приёмников, которые всё чаще подвергаются воздействию умышленных помех. О важности возвращения технологии счисления пути судна в пространство обязательных способов и методов, обеспечивающих безопасность мореплавания, можно судить по принятию двух документов [1, 2]. Тем не менее, в реальности судовой лаг продолжает быть вне метрологического интереса морских администраций и судовладельцев.

Нежелание проходить мерную линию вызывается большими затратами ходового времени на движение в район полигона и продолжительного маневрирования для выполнения необходимых пробегов, а также из-за непостоянства поверхностных течений на акваториях мерных линий [3]. Поэтому возникает потребность определять поправку лага непосредственно в рейсе вдали от берега так, чтобы оценивать и учитывать параметры поверхностного течения, исходя из результатов обработки данных о движении судна в ходе простого и непродолжительного маневрирования. Цель данной статьи посвящена описанию одного из таких способов, отличающегося повышенной точностью.

Пусть судно совершает плавание вдали от берега, где на ограниченной акватории в данный момент времени действуют постоянное течение и слабый ветер, а также отсутствует зыбь. Курс и скорость течения неизвестны. Судно совершает  $n$  пробегов, выполняя последовательные изменения курса на приблизительно одинаковую величину, чтобы снизить влияние систематической погрешности измерений. Продолжительность каждого пробега не превышает одной минуты. На каждом  $i$ -ом пробеге в момент времени  $t_i$ , с которого начинается установившейся скоростной режим движения судна после изменения курса, начинают фиксировать генерируемые СРНС-приёмником величины модуля абсолютной скорости ( $SOG_{ij}$  - Speed Over Ground) и путевого угла ( $COG_{ij}$  - Course Over Ground), а также запоминается отсчёт лага  $ОЛ_i$ . В момент времени  $t_{i+1}$ , соответствующий окончанию движения на  $i$ -ом пробеге, фиксируются последние на этом пробеге  $SOG$ ,  $COG$ , а также запоминается  $ОЛ_{i+1}$ . Пусть на каждом пробеге зафиксировано  $k$  величин модуля абсолютной скорости судна и путевого угла. Тогда их средние значения на  $i$ -м пробеге рассчитаются следующим образом

$$SOG_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k SOG_{ij}; COG_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k COG_{ij}.$$

Процедура усреднения снижает влияние высокочастотной составляющей случайных погрешностей измерения модуля скорости относительно грунта и путевого угла.

Для пояснения предлагаемого способа определения поправки лага обратимся к рисунку. На нём можно видеть прямоугольную систему координат ХОУ, у которой ось Х совпадает



с параллелью и направлена на восток, а ось Y совпадает с меридианом и направлена на север.

Если из начала системы XOY по направлениям COG<sub>i</sub> откладывать величины усреднённых абсолютных скоростей SOG<sub>i</sub>, то концы векторов абсолютных скоростей образуют на плоскости n точек, координаты которых определяются следующими формулами:

$$x_i = SOG_i \sin(COG_i); y_i = SOG_i \cos(COG_i).$$

Пусть на той акватории, где происходит маневрирование судна, не действуют ветер и течение. Тогда по всем направлениям COG судно будет следовать с одинаковой относительной скоростью V. И если по всем направлениям пробегов из точки O отложить модули вектора V, то их концы на плоскости создадут множество точек, через которые будет проходить окружность радиуса V с центром, совпадающим с точкой O. Под действием течения с курсом течения K<sub>T</sub> и модулем V<sub>T</sub> центр окружности переместится из точки O в конец вектора течения с координатами (x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>). При этом координаты точек, через которые проведена окружность, останутся прежними, что следует из векторного треугольника скоростей, образованного векторами V<sub>T</sub>, V<sub>i</sub> и SOG<sub>i</sub>. Следовательно, чтобы получить поправку судового лага, необходимо избавиться от воздействия течения, для чего требуется рассчитать координаты точки (x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>).

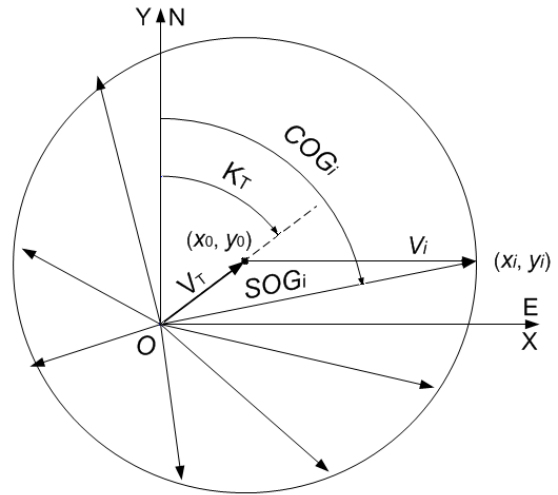


Рисунок – Принцип исключения течения

Запишем уравнение окружности, центр которой не совпадает с началом координат

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 = R^2. \tag{1}$$

В уравнении (1) R является радиусом окружности, а в нашем случае относительной скоростью движения судна. Представим уравнение (1) в развёрнутом виде.

$$x_i^2 + y_i^2 - 2x_0x_i - 2y_0y_i + x_0^2 + y_0^2 - R^2 = 0. \tag{2}$$

Введём следующие обозначения неизвестных

$$A = -2x_0; B = -2y_0; C = x_0^2 + y_0^2 - R^2; R = \sqrt{\frac{A^2}{4} + \frac{B^2}{4} - C} = \frac{\sqrt{A^2 + B^2 - 4C}}{2}. \tag{3}$$

Сделаем подстановки в формулу (2). Получим

$$x_i^2 + y_i^2 + Ax_i + By_i + C = 0. \tag{4}$$

Уравнение (4) является линейным относительно трёх неизвестных A, B и C. Поскольку выполнено n измерений (n пробегов), то имеет место система уравнений вида (5)

$$\begin{cases} x_1^2 + y_1^2 + Ax_1 + By_1 + C = 0; \\ \dots \\ x_i^2 + y_i^2 + Ax_i + By_i + C = 0; \\ \dots \\ x_n^2 + y_n^2 + Ax_n + By_n + C = 0. \end{cases} \tag{5}$$

Так как число пробегов предполагается больше трёх (n > 3), то система уравнений (5) обладает избыточностью. Кроме того, входящие в систему коэффициенты x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub> (i = 1, 2, ..., n), несмотря на усреднение SOG<sub>i</sub> и COG<sub>i</sub>, остаются величинами случайными. Поэтому чтобы решить систему (5), воспользуемся методом наименьших квадратов. Для этого сначала просуммируем уравнения системы (5)

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 + \sum_{i=1}^n y_i^2 + A \sum_{i=1}^n x_i + B \sum_{i=1}^n y_i + nC = 0. \tag{6}$$

Если бы концы всех векторов абсолютных скоростей совпадали с окружностью радиуса R, то уравнение (6) имело бы место. Но в общем случае, как показано на рисунке, этого не происходит. Обозначим через α<sub>i</sub> невязку, то есть расстояние между концом вектора абсо-



лютой скорости  $SOG_i$  и окружностью. Тогда уравнение (6) будет равняться не 0, а сумме невязок (7)

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 + \sum_{i=1}^n y_i^2 + A \sum_{i=1}^n x_i + B \sum_{i=1}^n y_i + nC = \sum_{i=1}^n \alpha_i. \quad (7)$$

Математическая основа предлагаемого способа состоит в том, чтобы подобрать такие значения  $x_0, y_0$  и  $R$ , при которых сумма невязок стремилась бы к минимуму. Если ввести в рассуждение функционал  $\Phi(A, B, C)$  то это условие можно записать следующим образом

$$\Phi(A, B, C) = \sum_{i=1}^n \left[ \alpha_i - (x_i^2 - y_i^2 + Ax_i + By_i + C) \right]^2 \rightarrow \min. \quad (8)$$

Чтобы отыскать минимум функционала  $\Phi(A, B, C)$ , необходимо найти такие  $A, B$  и  $C$ , которые обращают в ноль все его частные производные, то есть

$$\frac{1}{2} \frac{\partial \Phi}{\partial A} = 0; \quad \frac{1}{2} \frac{\partial \Phi}{\partial B} = 0; \quad \frac{1}{2} \frac{\partial \Phi}{\partial C} = 0.$$

Получим частные производные функционала (8)

$$\begin{cases} 2 \sum_{i=1}^n \left[ \alpha_i - (x_i^2 + y_i^2 + Ax_i + By_i + C) \right] x_i = 0; \\ 2 \sum_{i=1}^n \left[ \alpha_i - (x_i^2 + y_i^2 + Ax_i + By_i + C) \right] y_i = 0; \\ 2 \sum_{i=1}^n \left[ \alpha_i - (x_i^2 + y_i^2 + Ax_i + By_i + C) \right] = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Координаты концов векторов абсолютных скоростей на каждом галсе получены в результате усреднения зарегистрированных  $SOG$  и  $COG$ . Такая процедура значительно уменьшает случайные погрешности. С учётом этого, а также при условии  $n \rightarrow \infty$  вполне обоснованно можно предположить, что сумма невязок  $\alpha_i$  будет стремиться к 0. Учтя это, и разделив систему уравнений на 2, получим систему уравнений (10)

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \left[ x_i^2 + y_i^2 + Ax_i + By_i + C \right] x_i = 0; \\ \sum_{i=1}^n \left[ x_i^2 + y_i^2 + Ax_i + By_i + C \right] y_i = 0; \\ \sum_{i=1}^n \left[ x_i^2 + y_i^2 + Ax_i + By_i + C \right] = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Решим систему (10) относительно  $A, B$  и  $C$ , для чего преобразуем входящие в неё уравнения

$$\begin{cases} A \sum_{i=1}^n x_i^2 + B \sum_{i=1}^n x_i y_i + C \sum_{i=1}^n x_i = - \left( \sum_{i=1}^n x_i^3 + \sum_{i=1}^n x_i y_i^2 \right); \\ A \sum_{i=1}^n x_i y_i + B \sum_{i=1}^n y_i^2 + C \sum_{i=1}^n y_i = - \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i + \sum_{i=1}^n y_i^3 \right); \\ A \sum_{i=1}^n x_i + B \sum_{i=1}^n y_i + Cn = - \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 + \sum_{i=1}^n y_i^2 \right). \end{cases} \quad (11)$$

Введём новые обозначения для коэффициентов при неизвестных

$$\begin{aligned} b_1 &= - \left( \sum_{i=1}^n x_i^3 + \sum_{i=1}^n y_i^2 x_i \right); \quad b_2 = - \left( \sum_{i=1}^n y_i x_i^2 + \sum_{i=1}^n y_i^3 \right); \quad b_3 = - \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 + \sum_{i=1}^n y_i^2 \right); \\ a_{11} &= \sum_{i=1}^n x_i^2; \quad a_{12} = \sum_{i=1}^n y_i x_i; \quad a_{13} = \sum_{i=1}^n x_i; \quad a_{21} = \sum_{i=1}^n x_i y_i; \quad a_{22} = \sum_{i=1}^n y_i^2; \\ a_{23} &= \sum_{i=1}^n y_i; \quad a_{31} = \sum_{i=1}^n x_i; \quad a_{32} = \sum_{i=1}^n y_i; \quad a_{33} = n. \end{aligned}$$

Тогда систему уравнений (11) можно записать как систему из трёх линейных уравнений с тремя неизвестными  $A, B$  и  $C$

$$\begin{cases} a_{11}A + a_{12}B + a_{13}C = b_1; \\ a_{21}A + a_{22}B + a_{23}C = b_2; \\ a_{31}A + a_{32}B + a_{33}C = b_3. \end{cases} \quad (12)$$

Такую систему можно решить стандартным способом с помощью детерминантов. Запишем формулы для детерминантов, используя правило Саррюса

$$D = a_{11}a_{22}a_{33} + a_{12}a_{23}a_{31} + a_{13}a_{21}a_{32} - a_{13}a_{22}a_{31} - a_{11}a_{23}a_{32} - a_{12}a_{21}a_{33}.$$

В ходе обработки многочисленных натуральных экспериментов по определению параметров вектора поверхностного течения было выявлено, что всегда величина детерминанта была отлична от нуля. Поэтому будем считать, что система уравнений (12) совместна и имеет решения

$$D_A = b_1a_{22}a_{33} + a_{12}a_{23}b_3 + a_{13}b_2a_{32} - a_{13}a_{22}b_3 - b_1a_{23}a_{32} - a_{12}b_2a_{33};$$

$$D_B = a_{11}b_2a_{33} + b_1a_{23}a_{31} + a_{13}a_{21}b_3 - a_{13}b_2a_{31} - a_{11}a_{23}b_3 - b_1a_{21}a_{33};$$

$$D_C = a_{11}a_{22}b_3 + a_{12}b_2a_{31} + b_1a_{21}a_{32} - b_1a_{22}a_{31} - a_{11}b_2a_{32} - a_{12}a_{21}b_3.$$

Тогда решение системы уравнений (12) запишется по формулам Крамера следующим образом

$$A = \frac{D_A}{D}; B = \frac{D_B}{D}; C = \frac{D_C}{D}.$$

Подставляя полученные значения  $A, B, C$  в формулы (3), можно вычислить искомые координаты центра окружности  $(x_0, y_0)$  и радиус окружности  $R$ . Так как в нашем случае радиус окружности  $R$  является относительной скоростью судна, полученной в результате компенсации влияния течения, то обозначим её через  $V_0$ . Попутно можно оценить направление  $K_T$  в четвертном счёте, а также скорость течения  $V_T$

$$V_T = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}; K_T = \arctg\left(\frac{x_0}{y_0}\right).$$

Для каждого  $i$ -го пробега вычисляются время пробега  $\Delta t_i$  в секундах, разность отсчётов лага  $РОЛ_i$  в милях и скорость по лагу  $V_i$  в узлах

$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i; РОЛ_i = ОЛ_{i+1} - ОЛ_i; V_i = 3600 \frac{РОЛ_i}{\Delta t_i}.$$

Искомые средняя скорость по лагу  $V_{\Pi}$ , поправка лага в процентах  $\Delta \Pi$  и коэффициент лага  $k_{\Pi}$  рассчитываются по следующим известным в судовождении формулам

$$V_{\Pi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i; \Delta \Pi = \frac{V_0 - V_{\Pi}}{V_{\Pi}} \cdot 100\%; k_{\Pi} = \frac{V_0}{V_{\Pi}}.$$

Предложенный способ не требует маневрирования на мерной линии, что экономит ходовое время судна. Способ просто автоматизируется и не нуждается в привлечении для его реализации специалистов базовых электрорадионавигационных камер. Разработанную и апробированную на его основе компьютерную программу можно внедрять в программное обеспечение современных устройств электронной картографии и навигационных информационных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 International standard IEC 61023. Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Marine speed and distance measuring equipment (SDME) - Performance requirements, methods of testing and required test results. -Geneva: TC 80, 2007. -26 p.  
2 Правила по оборудованию морских судов / -Ч. V. Навигационное оборудование. -СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2016. -166 с.  
3 Комаровский, Ю.А. Оценка стационарности поверхностных течений на Амурской мерной линии с помощью GPS-приёмника // -Проб. трансп. Вост.: мат-лы XXI межд. науч.-практ. конф. 2-4 окт. 2015. (FEBRAT-15). -Владивосток: Дальневост. отд. Рос. акад. трансп., 2015. -С. 160-162.

1 International standard IEC 61023. Geneva: TC 80. 2007. -26 p.  
2 Regulations regarding the equipment of sea-going ships. Part V. Navigational equipment [Pravila po oborudovaniyu morskikh sudov. Ch.V. Navigatsionnoe oborudovanie]. St. Petersburg: Russian Maritime Register of Shipping Publ. 2016. 166 p.  
3 Komarovskiy Yu.A. Estimation of stationary surface flow at the Amur measuring mile using a GPS [Otsenka statsionarnosti poverkhnostnykh techeniy na Amurskoy mernoj linii s pomoshch'yu GPS-priemnika]. Problemy transporta Dal'nego Vostoka – FEBRAT-15. Vladivostok: Far Eastern branch of the Russian Transport Academy Publ. 2015. pp. 160-162.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

абсолютная скорость, путевого угол, мерная линия, поправка лага, GPS-приёмник, вектор скорости течения

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, консультант МГУ им. адм. Г.И. Невельского

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, МГУ им. адм. Г.И. Невельского

## КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАБИЛИЗАТОРА СПАСАТЕЛЬНОГО ПЛОТА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.А. Сухих, В.И. Сичкарев

### KINEMATIC AND DYNAMIC RESEARCH OF LIFERAFT STABILIZER

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

Aleksandr A. Sukhikh (Student of SSUWT)

Viktor I. Sichkarev (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences. Prof. of SSUWT)

**ABSTRACT:** The article presents description and research findings of the liferaft stabilizer. Test stand operation is considered.

**Keywords:** liferaft stabilizer, test stand

Приведены результаты исследования стабилизатора спасательного плота с использованием испытательного стенда.

Гибель теплохода «Синегорье» в 2006 году и спасение части его экипажа обнаружили ранее не описанное явление опрокидывания (переворачивания) надувного спасательного плота гребнем волны. Анализ этого явления приводит к необходимости пересматривания конструкции стабилизаторов плотов, реализуемых в существующих конструкциях в виде водозаполняемых карманов. Известно, что колебательные движения частиц воды быстро убывают с глубиной. Из этого следует, что водозаполняемые карманы плота, находясь в верхних слоях воды, не обеспечивают необходимую стабилизацию плота и не уменьшают скорость дрейфа плота на ветру. Поиск иных путей обеспечения стабилизации плота на волнении приводит к возможности использования элементов волновых энергетических установок, разрабатывавшихся с той же целью стабилизации устройства на волнении, [1]. Это устройство было взято в качестве прототипа при разработке стабилизатора спасательного плота.

Цель настоящих исследований заключается в определении кинематических и динамических характеристик стабилизатора для спасательного плота, аналогичного [1], и в исследовании его эффективности.

На рисунке 1 представлен стабилизатор спасательного плота, сконструированный на основе технического решения [1]. Он представляет собой рамку из металлических пластин, поставленных на ребро, по размерам близкую к размерам баллона с углекислым газом для наполнения спасательного плота (размеры имеют важное значение в связи с необходимостью сворачивания надувного спасательного плота). Днищем рамки служит сварная металлическая сетка с размером ячеек 30×30 мм. К продольным пруткам сетки вдоль осевой линии по всей длине рамки пришиты тканевые лепестки таким образом, что в расправленном состоянии они закрывают всё днище рамки. При опускании под собственным весом рамки в воде лепестки складываются вдоль прошивки, приобретая форму симметричной буквы «V». Соответственно этому гидродинамическое сопротивление рамки при её подъёме и при опускании значительно различаются. Именно эта разность сопротивлений и используется для стабилизации плота: на заднем склоне волны плот и стабилизатор опускаются, а на переднем склоне волна поднимает плот (и может его опрокинуть), а стабилизатор оказывает сопротивление, предохраняя плот от опрокидывания и от чрезмерного дрейфа. Разность сопротивлений обусловлена вовлечением разных присоединённых масс жидкости при движении рамки вниз с поднятыми лепестками и вверх с расправленными лепестками. По этой причине устройство названо якорем присоединённой массы (ЯПМ).

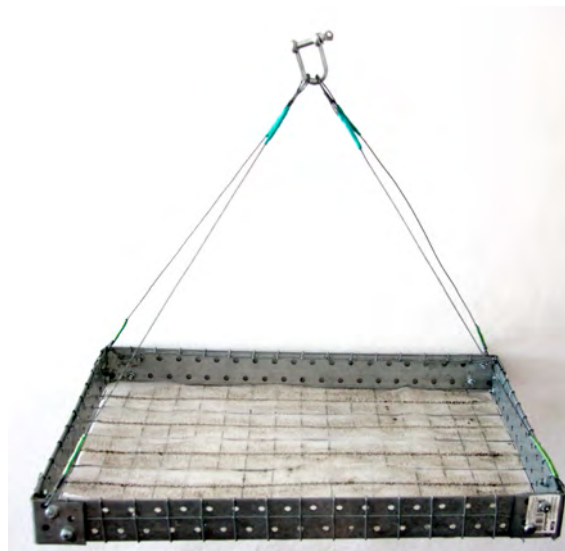


Рисунок 1 – Опытный экземпляр стабилизатора спасательного плота в виде якоря присоединённой массы

Для испытания стабилизатора на работоспособность складывающихся лепестков и оценку гидродинамических и кинематических параметров стабилизации изготовлен стенд, состоящий из ёмкости с водой, в которой движется стабилизатор, нагрузочного устройства для подъёма стабилизатора, линейки для измерения перемещений и регистрирующего устройства, рисунок 2.

В качестве груза использовались колёса с довесками, что позволило сформировать нагрузочную линейку в 16, 24, 32, 40, 48 кг. Через трос и систему блоков вес груза передавался на стабилизатор в виде вертикальной нагрузки. Высота опускания груза соответствовала рабочей высоте ёмкости с водой (0,85 м). Для создания эффекта «мгновенного» приложения нагрузки к стабилизатору, груз на начальной высоте закреплялся стопорной стропкой, которая перерезалась в момент начала опыта.

В качестве регистрирующего устройства использовалась видеочамера с фиксированной частотой кадров.

Методика проведения опыта следующая. Груз подвешивался на стропку на начальной высоте, при которой стабилизатор находился на дне ёмкости с водой. Видеочамера устанавливалась на достаточном удалении, чтобы фиксировать опускание груза по шкале перемещений без значительного параллакса. Включалась видеосъёмка; перерезалась стропка; груз натягивал трос и, опускаясь, поднимал стабилизатор на всю рабочую высоту ёмкости; к этому времени груз ложился на поддон и движение стабилизатора останавливалось. Затем видеосъёмка обрабатывалась покадрово для получения зависимости перемещения стабилизатора от времени (номера кадра) под действием установленного груза. Испытания проводились трижды с каждым указанным весом; полученные результаты с каждым весом затем осреднялись.

По результатам обработки каждой видеозаписи с каждым весом груза составляется таблица, в которой указан номер кадра по порядку, время  $t$  от начала движения, положение груза по высоте (уровень по линейке, на котором находится груз в момент съёмки каждого кадра)  $ОЛ$ . Затем рассчитывается отрезок пути ( $\Delta S$ ) груза за время одного кадра, составляющего 0,04 с, и путь ( $S$ ) груза от начала движения.

Пример обработки видеозаписей с одним из грузов (32 кг) показан в таблице 1.

Таблица 1 – Снятие и обработка показаний с видеозаписи в опытах 7-9, вес груза 32 кг

№ кадра	$t$ , с	$ОЛ_1$ , см	$\Delta S_1$ , см	$S_1$ , см	$ОЛ_2$ , см	$\Delta S_2$ , см	$S_2$ , см	$ОЛ_3$ , см	$\Delta S_3$ , см	$S_3$ , см
0	0,00	85	0	0	85	0	0	85	0	0
1	0,04	80	5	5	80	5	5	80	5	5
2	0,08	75	5	10	75	5	10	75	5	10
3	0,12	71	4	14	71	4	14	73	2	12
4	0,16	68	3	17	69	2	16	71	2	14
5	0,20	65	3	20	67	2	18	69	2	16
6	0,24	63	2	22	65	2	20	66	3	19
7	0,28	60	3	25	62	3	23	64	2	21
8	0,32	55	5	30	59	3	26	60	4	25
9	0,36	52	3	33	55	4	30	57	3	28
10	0,40	49	3	36	52	3	33	54	3	31
11	0,44	47	2	38	49	3	36	51	3	34
12	0,48	45	2	40	46	3	39	49	2	36
13	0,52	43	2	42	44	2	41	47	2	38
14	0,56	41	2	44	41	3	44	44	3	41
15	0,60	39	2	46	38	3	47	41	3	44



Рисунок 2 – Испытательный стенд:  
1-рама с нагрузочным устройством;  
2-шкала перемещений; 3, 4-стойки  
рамы; 5-ёмкость с водой

Продолжение таблицы 1

№ кадра	$t, c$	$ОЛ_1, cm$	$\Delta S_1, cm$	$S_1, cm$	$ОЛ_2, cm$	$\Delta S_2, cm$	$S_2, cm$	$ОЛ_3, cm$	$\Delta S_3, cm$	$S_3, cm$
16	0,64	36	3	49	35	3	50	38	3	47
17	0,68	33	3	52	32	3	53	35	3	50
18	0,72	30	3	55	29	3	56	32	3	53
19	0,76	27	3	58	27	2	58	30	2	55
20	0,80	24	3	61	24	3	61	27	3	58
21	0,84	21	3	64	21	3	64	24	3	61
22	0,88	18	3	67	19	2	66	21	3	64
23	0,92	15	3	70	16	3	69	18	3	67
24	0,96	12	3	73	13	3	72	15	3	70
25	1,00	9	3	76	10	3	75	12	3	73
26	1,04	6	3	79	7	3	78	9	3	76
27	1,08	3	3	82	4	3	81	6	3	79
28	1,12	1	2	84	2	2	83	3	3	82
29	1,16	0	1	85	0	2	85	1	2	84
30	-	-	-	-	-	-	-	0	1	85

По данным таблицы строится график пути  $S$  от начала движения (рисунок 3) и график перемещений  $\Delta S$  за время одного кадра (рисунок 4), на котором виден колебательный процесс во время поступательных движений.

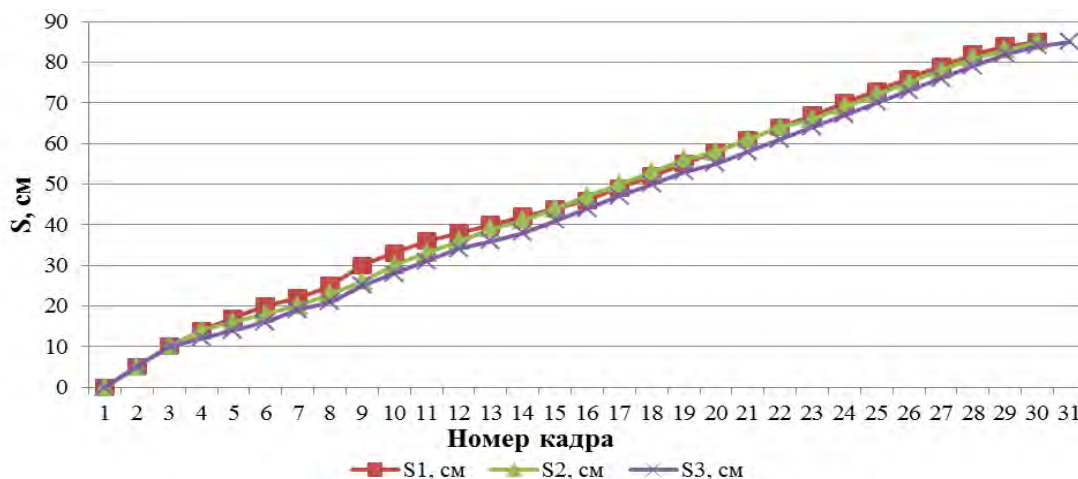


Рисунок 3 – Суммарное перемещение ЯПМ при массе груза 32 кг в опытах 7-9

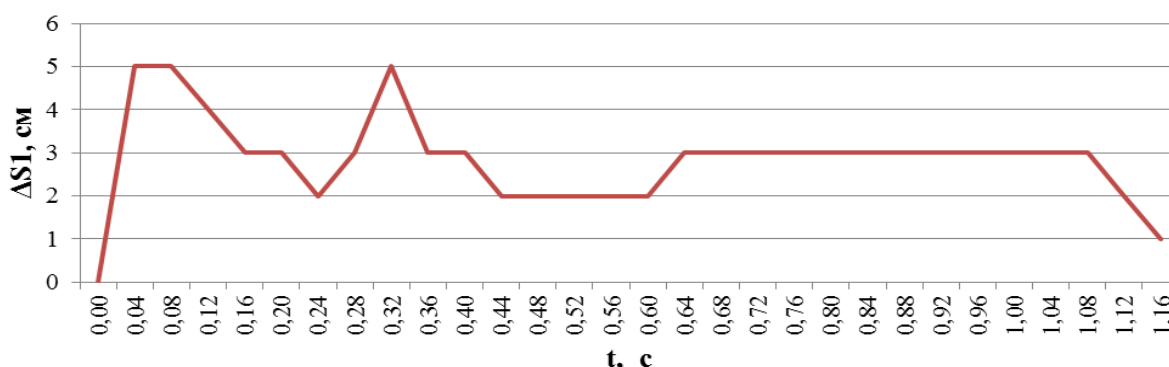


Рисунок 4 – Покадровое перемещение ЯПМ при массе груза 32 кг в седьмом опыте

Осреднённые значения пути  $S$ , пройденного грузом за время  $t$  от начала движения в каждом из трёх опытов с каждым грузом  $P$ , представлены в таблице 2, где также представлен опыт с весом  $P2.3 = 32$  кг с установленными в ЯПМ тканевыми лепестками.

Результаты всех опытов для каждого груза  $P$  по данным таблицы 2 показаны на рисунке 5. На рисунке 5 четко видна динамика процесса в виде колебаний ЯПМ по времени. Колебания с периодом около 0,5 с затухают примерно в течение двух периодов.

## СУДОВОЖДЕНИЕ

Таблица 2 – Осредненные значения пути  $S$  для каждого веса  $P$

$t, c$	Вес груза в опытах с брезентовыми лепестками, кг					$P_{2.3} = 32 \text{ кг}$
	16	24	32	40	48	
0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,04	2,3	5,0	5,0	5,0	5,3	5,0
0,08	5,3	9,7	10,0	10,0	9,7	10,0
0,12	8,0	12,7	13,3	13,7	12,3	15,0
0,16	9,7	15,0	15,7	16,3	15,0	17,7
0,20	10,7	16,0	18,0	18,7	18,0	19,7
0,24	11,7	17,3	20,3	21,0	21,3	21,7
0,28	13,0	20,0	23,0	24,3	25,3	24,7
0,32	15,0	22,3	27,0	28,0	29,3	27,7
0,36	17,3	25,3	30,3	32,0	33,3	31,0
0,40	19,3	28,3	33,3	35,3	36,3	34,0
0,44	21,7	31,3	36,0	38,7	39,7	36,7
0,48	23,3	34,0	38,3	41,7	43,3	39,7
0,52	24,3	36,7	40,3	44,7	47,3	42,0
0,56	25,7	39,0	43,0	47,7	50,7	44,3
0,60	27,3	41,0	45,7	50,7	53,7	47,3
0,64	29,3	43,3	48,7	53,7	57,0	50,0
0,68	31,3	45,7	51,7	56,7	60,0	52,7
0,72	32,7	48,0	54,7	59,7	63,7	55,0
0,76	35,0	50,3	57,0	62,7	66,7	57,3
0,80	37,3	52,7	60,0	66,3	69,7	60,0
0,84	39,7	54,7	63,0	69,3	73,0	63,0
0,88	41,7	56,7	65,7	72,3	76,0	65,7
0,92	43,3	59,0	68,7	75,3	79,0	68,7
0,96	45,0	61,0	71,7	78,0	82,0	71,3
1,00	46,7	63,0	74,7	81,0	83,7	73,7
1,04	48,3	65,0	77,7	83,3	84,3	76,7
1,08	50,3	67,0	80,7	85,0	85,0	79,3
1,12	51,7	69,0	83,0			81,7
1,16	53,0	71,3	84,7			83,0
1,20	54,3	73,7	85,0			84,3
1,24	56,0	75,7				85,0
1,28	58,0	77,7				
1,32	59,7	77,7				
1,36	61,3	79,0				
1,40	63,3	80,3				
1,44	65,3	81,7				
1,48	67,0	83,0				
1,52	69,3	84,3				
1,56	71,0	85,0				
1,60	72,7					
1,64	74,7					
1,68	76,0					
1,72	77,7					
1,76	79,3					
1,80	80,7					
1,84	81,7					
1,88	82,7					
1,92	83,3					
1,96	84,0					
2,00	84,7					
2,04	85,0					

При одинаковом весе груза динамика движения ЯПМ с брезентовыми лепестками и ЯПМ с капроновыми тканевыми лепестками отличается незначительно.

Чем больше груз, тем с большей скоростью протекает равномерное движение.

Анализ графиков осредненных значений суммарного перемещения ЯМП показал, что



динамические процессы затухают и движение ЯПМ приобретает равномерный характер на пути груза всего в 20 см; чем больше груз, тем с большей скоростью протекает равномерное движение. Временной интервал выхода на равномерное движение составляет примерно 1 с, что существенно меньше полупериода штормовых волн.

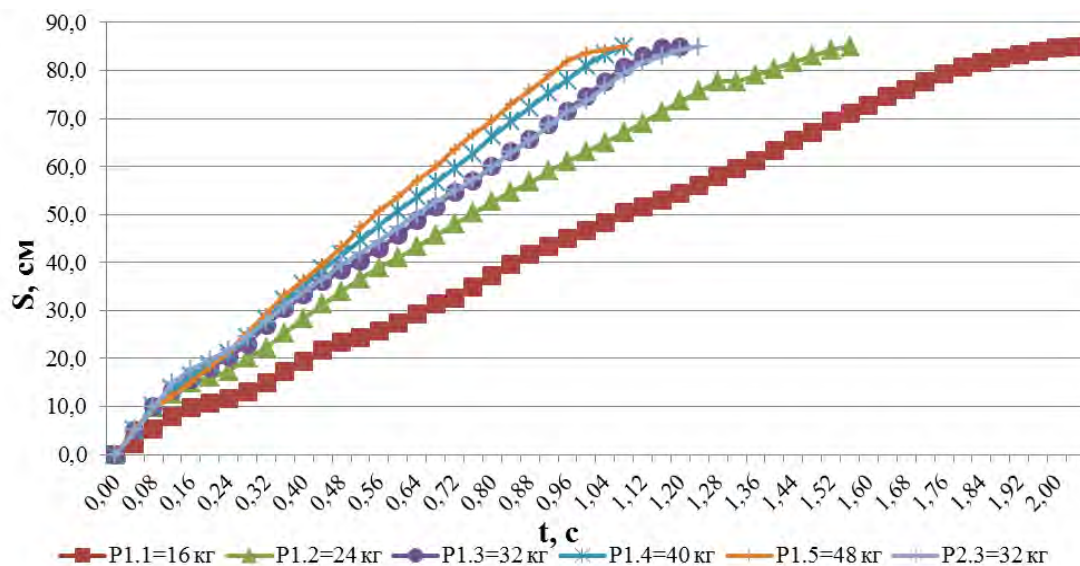


Рисунок 5 – Осредненные значения суммарного перемещения ЯПМ

Таким образом, ЯМП с размерами, близкими к размерам используемых на плотках углекислотных баллонов, способен обеспечить стабилизацию спасательного плота на волнении и сопротивляться ветровому дрейфу плота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 А.с. 1642056 СССР. F03B 13/12. Волновая установка / В.И. Сичкарев, М.Г. Захаркова (СССР). -№4665519/29; заявл. 22.02.89; опубл. 15.04.91, Бюл. №14. -3 с.

1 Sichkarev V.I., Zakharkova M.G., Wave power device [Volnovaya ustanovka]. *Izobreteniya Poleznye modeli*. April. 15, 1991. No. 14, 3 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** стабилизатор спасательного плота, испытательный стенд  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Сухих Александр Александрович, студент ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 Сичкарев Виктор Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

## ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ СОХРАНЕНИЯ ПЛАВУЧЕСТИ И ОСТОЙЧИВОСТИ АВАРИЙНЫХ СУДОВ ЭЛАСТО-ПНЕВМО-КОНСТРУКТИВНЫМ МЕТОДОМ

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

**А.И. Потутаровский**

**RATIONALE FOR BUOYANCY AND STABILITY KEEPING OF DISTRESSED VESSELS USING STABILIZATION PONTOONS**  
 Maritime State University named after admiral G.I.Nevelskoi (MSU named after adm. G.I.Nevelskoi) 50a,  
 Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia  
**Anatoliy I. Potutarovskiy** (Head of Laboratory MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

**ABSTRACT:** Compensatory measures on the stability of distressed vessels using soft pontoons and other devices are aimed not only on 100% safety at sea but also on solving economic and environmental issues.

**Keywords:** safety at sea, main direction of system approach, soft pontoons, buoyancy, stability

Рассмотренные компенсационные меры по сохранению остойчивости судов, терпящих бедствие, с использованием мягких понтонов и других устройств, направлены не только на обеспечение 100% безопасности в море, но также на решение экономических и экологических вопросов.

Тенденции развития общества, техники и судостроения позволили сформировать несколько положений для сохранения аварийных судов на плавучесть:

1 Совершенствование конструкции судов металло-оформленным методом. Это наи-



более капиталоемкий путь. По соотношению «стоимость /эффективность», как сообщали американские исследователи, вторые борта на судах необходимо устанавливать при водоизмещении не менее 10000 т или длиной более 100 м. В целях сохранения осадки судами снабженцами, доставляющими грузы по северным рекам, пространство между двойными бортами предложено заполнять мягкими пневматическими ёмкостями [1]. Это ещё более увеличит затраты на сохранение судном мореходных качеств. Но позволит преодолеть аварийное состояние и обеспечить работоспособность судна. Для обеспечения непотопляемости и предотвращения опрокидывания грузопассажирских паромов с горизонтальной грузообработкой, фирмой «Сибэсс» из Англии предложено оборудовать их цилиндрическими надувными ёмкостями, размещаемыми на бортах и закрытых кожухами. Высота их в сложенном состоянии не более 90 мм. Сами ёмкости изготавливаются из нейлона покрытого полиуретаном. При диаметре ёмкостей свыше 4,5 м их делают из кевлара. Фирмой в 1990 г. были получены первые заказы на поставку аварийной системы для судов. Стоимость одного комплекта для рыболовного судна длиной 19,5 м равна 30000 фунтов стерлингов. Изготовление и монтаж системы безопасности для парома вместимостью 26000 рег. т будет стоить уже 1,25 млн. фунтов стерлингов [2].

Такая же система из мягких пневматических ёмкостей максимальным объёмом по 3,5 м<sup>3</sup> каждая начала разрабатываться в 1974 г. в ДВВИМУ им. адм. Г.И. Невельского во Владивостоке (в настоящее время Морской государственный университет – МГУ). По заданию отдела «Мореплавание» ГПО «Дальрыба» в 1991 г. была закончена разработка по усовершенствованию ранее построенных мягкооболочечных устройств. Они были необходимы для повышения остойчивости рыбодобывающих судов в момент поднятия трала с рыбой во избежание их опрокидывания и обеспечения плавучести.

По разработанным техническим заданиям в Узбекистане, на заводе «Узбекрезинотехника» были изготовлены три партии понтонов и закладных ёмкостей. С ними были проведены испытания в ЭО АСПТР ДВМП, в бухте Улисс (база КТОФ), в акватории Спортивной гавани ДВВИМУ (Амурский залив) и получены положительные результаты. При испытании в гавани вместо аварийного судна использовался двадцатифутовый контейнер с «пробоиной» в торце – открытыми воротами. Потерянные в результате «аварии» мореходные качества – плавучесть и остойчивость были компенсированы надувными воздухом двумя закладными ёмкостями.

*2 Организационно-технические или превентивные меры* используются на судах во время эксплуатации и аварий. Это оборудование судна насосами и трубопроводами. Они служат для изменения положения центра тяжести судна с грузом, балластировки. При водотечных повреждениях их используют для откачки воды за борт. Процесс откачки занимает время, поэтому изменить остойчивость быстрее можно с помощью мягких пневматических ёмкостей. В этом случае значительно быстрее меняется не центр тяжести судна, а центр плавучести.

*3 Борьба за сохранение судна на плаву.* Для этого используется аварийное снабжение (пластыри, доски, клинья и прочее), а также информацию от датчиков прочности корпуса, попадания воды, наличия запаса плавучести и остойчивости. Такое оборудование позволяет с помощью компьютеров контролировать, прогнозировать и регулировать процесс изменения непотопляемости и остойчивости.

Почему же главное направление в обеспечении безопасности человека на море – восстановление или компенсация жизнеобеспечивающих мореходных качеств судов (плавучести и остойчивости) при авариях активно не внедряется на судах? Проектным мягкооболочечным решениям уже более четверти века. В 2010 г. эта проблема вновь была поднята. Мировое сообщество в лице Евросоюза выделило грант в размере 2,65 млн. евро на разработку консорциумом из девяти проектно-конструкторских и инженерных бюро во главе с координирующей группой системы безопасности для удержания на плаву судов, получивших пробоину. В объединение вошли специалисты из нескольких стран Европы [3]. В 2014 г. ими проведены успешные испытания системы из мягких надувных оболочек. Если технически мягкооболочечное решение проблемы безопасности не раз доказано и подтверждено, то экономически баланс «затраты/эффективность» ещё только приближается к своему равенству. Что имеется в виду? Как показывает практика, суда становятся крупнее и дороже. Потеря жидкого груза (нефти, нефтепродуктов, химических веществ, многие из которых для человека и животного мира опасны) ведёт к экологическим загрязнениям и экономическим издержкам. В то же время, не редко на списываемых судах аварийное и спасательное обо-

рудование ни разу по прямому назначению не использовалось. Только в учебных целях. Дублирующая система из мягких оболочек, как компенсационная, гарантирующая сохранение мореходных качеств без участия человека, рассчитанная на аварийный случай, стоит немалых затрат. И неизвестно понадобится она или нет для конкретного судна. Поэтому такое дорогое дублирующее оборудование на крупных судах не внедряется. Имеется в виду, что суда длиной более 80 м обязаны обладать конструктивным запасом непотопляемости. То есть запасом плавучести, созданным при постройке водоизмещающими объёмами из металлических переборок, палуб и платформ. Величина запаса для разного типа судов может быть разной, но не менее одного отсека у грузовых. Согласно [4] на компенсацию теряемой плавучести конструктивным «металлическим» путём для сохранения судна на плаву при получении пробоины корпуса «тратится» от 25 до 50% весового водоизмещения судна. Эти металлические конструкции, вынужденно вытягивают корпус судна в высоту. Если судно обеспечить аварийным запасом плавучести из более лёгких материалов и использовать тогда, когда это необходимо, то можно получить эффект уменьшения массы корпуса на величину разницы от 25 до 50% минус вес конструкций из лёгких материалов (они во много раз легче металлических). Это в свою очередь позволит уменьшить осадку и сопротивление воды движению судна. Уменьшится и воздушное сопротивление. Двигатель, меньший по мощности, уменьшит выброс в атмосферу выхлопных газов. А это то, чем озабочено сейчас международное сообщество. Известно, что в декабре 2015 г. в Париже состоялось международное собрание, принявшее решение нести затраты на уменьшение загрязнений, влияющих на потепление планеты.

Аварийный судоремонт при водотечных повреждениях корпуса зависит от погодных условий, и требует времени на подготовку и восстановление. Компенсационные меры сохранения плавучести и остойчивости не требуют выполнения этих работ. Дополнительные для корпуса водоизмещающие конструкции могут включаться и работать независимо от состояния моря, судна и участия человека без потери времени.

Тенденция к оборудованию судов добавочными конструкциями, воссоздающими главные мореходные качества взамен теряемых при авариях или оказавшихся недостаточными, стала формироваться несколько десятилетий назад. «Плавательные брёвна» – надувные баллоны, закрепляемые на бортах небольших лодок для сплава по рекам, нескольких типовых размеров выпускались на Уфимском резинотехническом заводе. В Англии выпускались надувные баллоны ещё больших типоразмеров. Несколько позже в разных странах получили широкое распространение жёстко – надувные (комбинированные) катера. Корпус – из пластика, а борта надувные. Жёсткий корпус позволяет двигаться с большей скоростью. А мягкие цилиндрические борта травма безопасные для спасаемых, находящихся за бортом людей, обеспечивают уникально высокую непотопляемость такому судну. Несколько лет назад в Канаде стали выпускать небольшие прогулочные пластиковые лодки, у которых по бортам над ватерлинией штатно установлены мягкооболочечные надувные трубы с небольшой конусностью к носу.

Другой тенденцией, проявившейся в последние десятилетия, можно назвать укрупнение коллективных спасательных средств. От спасательных лодок закрытого типа, больше напоминающих подводные лодки (могут нырять), до спасательных отсеков и модулей, являющихся встроенной частью самих судов.

Сохранением аварийного судна на плаву (его плавучести и остойчивости) исключается необходимость выхода экипажа на палубу, подготовки спасательных средств, их перемещения за борт, попадания людей в эти средства, выживания в них. Практика не однажды подтверждала это.

Таким образом, в системном подходе обеспечения безопасности человека на море, продолжающем развиваться по всем направлениям, происходит поиск более эффективных конструкций, и в будущем ожидается развитие главного направления – сохранение аварийных судов на плаву за счёт строительства комбинированных корпусов с отдельной функциональной ориентацией составляющих его частей и элементов из разнородных материалов. Эксплуатационные нагрузки должен воспринимать жёсткий корпус. Аварийную плавучесть и остойчивость может обеспечивать часть неповреждённого корпуса совместно с прикрепленными к нему мягкооболочечными пневматическими ёмкостями и другими устройствами, находящимися до аварии в сложенном состоянии.

Таким образом, главное направление в системном подходе, ориентируемое на мягкооболочечные конструкции, определяется несколькими эффектами:

- сохраняется судно с грузом при водотечных повреждениях корпуса и других воздействиях на него;
- уменьшается вероятность потери судового топлива и влияние на загрязнение окружающей среды;
- уменьшается вес корпуса и соответственно выбросы в атмосферу загрязняющих веществ;
- плавучесть и аварийную остойчивость судна с водотечными повреждениями можно увеличить в большей степени, нежели металлическим путём;
- обеспечивается сохранность погибающих в настоящее время 50% людей, покидающих аварийное судно и пытающихся спастись с помощью менее надёжных, чем само аварийное судно, с «добавленными» плавучестью и остойчивостью.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Барабанов Н.В. Восстановление плавучести двухкорпусных танкеров, повреждённых во льдах, с помощью мягких пневматических ёмкостей / Н.В. Барабанов, Б.И. Друзь, А.И. Потутаровский. Тезисы межвуз. науч.-техн. конф. 14-16 мая 1997. -Владивосток: Изд-во Дальневост. Гос. Мор. Акад., 1997. -Ч.2. -С. 61.
- 2 Потутаровский, А.И. Обеспечение непотопляемости, предотвращение опрокидывания грузопассажирских паромов с горизонтальной грузообработкой / А.И. Потутаровский // -Судостроение. -1991. -№7. -С. 38.
- 3 The Motor Ship News. –Режим доступа: <http://www.motorship.com/>. -13.12.2010
- 4 Снопков, В.И. Безопасность мореплавания / В.И. Снопков, Г.И. Конопелько, В.Б. Васильева. -М.: Транспорт, 1989. -247 с.

**REFERENCES**

- 1 Barabanov N.V., Druz' B.I., Potutarovskiy A.I., Restoration of buoyancy of double-hull tankers damaged in ice with the help of soft air tanks [Vosstanovlenie plavuchesti dvukhkorpusnykh tankerov, povrezhdennykh vo l'dakh, s pomoshch'yu myagkikh pnevmaticheskikh emkostey]. -Vladivostok: Far Eastern St. Maritime Acad. Publ. 1997. Vol. 2. pp. 61.
- 2 Potutarovskiy A.I., Ensuring floodability, preventing overturning of passenger and freight ferries with horizontal cargo handling [Obespechenie nepotoplyaemosti, predotvrashchenie oprokidyvaniya gruzopassazhirskikh paromov s gorizontaln'noy gruzoobrabotkoy]. Ship construction [Sudostroenie]. 1991. No. 7. pp. 38.
- 3 The Motor Ship News. URL: <http://www.motorship.com/>. - December 13, 2010
- 4 Snopkov V.I., Konopel'ko G.I., Vasil'eva V.B., Navigation safety [Bezopasnost' moreplavaniya]. Moscow: Transport Publ. 1989. 247 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

*безопасность на море, главное направление системного подхода, мягкие понтоны, плавучесть, остойчивость*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:**

*Потутаровский Анатолий Иванович, заведующий лабораторией МГУ им. адм. Г.И. Невельского 690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, МГУ им. адм. Г.И. Невельского*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:**

---

## **РАЗВИТИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА МОРЕ**

**ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»**

**А.И. Потутаровский**

**DEVELOPMENT OF A SYSTEM APPROACH TO PROVIDING HUMAN SAFETY AT SEA**

Maritime State University named after admiral G.I.Nevelskoi (MSU named after adm. G.I.Nevelskoi) 50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia

Anatoliy I. Potutarovskiy (Head of Laboratory MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

---

**ABSTRACT:** Around 50% of human losses during ship accidents force to assess the effectiveness of different directions of system approach in providing the safety of life at sea. The article shows that it is necessary to concentrate the efforts on the most resultative main direction instead of development of all directions simultaneously. For saving all the crew of a vessel got into a heavy accident it is essential to provide her stability.

**Keywords:** *system approach development, main direction, safety at sea, buoyancy, stability*

---

При авариях и катастрофах судов гибнет 50% экипажа судна. В статье выполнена оценка эффективности различных направлений системного подхода к спасению жизни на море. Несмотря на развитие всех направлений, необходимо сосредоточить усилия на главном направлении – спасении всего экипажа судна.

В связи с непрекращающимися авариями судов, иногда сопровождающимися гибелью людей, продолжается развитие всех направлений системного подхода по обеспечению их безопасности.

В нём задействовано несколько направлений. Это то, от чего зависит безопасность людей на море, что должно предотвратить их гибель. На сегодня системный подход включает:

- 1 Надёжность техники, эффективность действия береговых служб, информационное обеспечение мореплавания, квалифицированность обслуживающего персонала;
- 2 Сигнальные и поисковые средства;

3 Помощь других судов;

4 Национальные и международные организации, спасательно-координационные центры, экспедиционные отряды аварийно-спасательных и подводно-технических работ (ЭО АСПТР), экспедиционные отряды аварийно-спасательных работ (ЭО АСР), ИМО и другие;

5 Индивидуальные средства спасения;

6 Коллективные средства спасения;

7 Судовое оборудование, улучшающее работоспособность экипажа, механизмов и предотвращающее аварии судов;

8 Собственные судовые средства спасения аварийного судна.

Для оценки эффективности сохранения жизни людей при авариях судов рассмотрим подробнее эти направления.

1 От того, насколько надёжно судно, его системы и механизмы, подготовленность управляющего и обслуживающего персонала, зависит исключение или уменьшение аварий на флоте.

2 Если по каким либо причинам судно всё же попадает в аварию, то, не теряя времени на усугубление его состояния, необходимо сигнализировать о необходимости помощи (СОС и др.).

3 Только после этого ближе расположенные суда смогут оказать помощь при минимальной потере времени.

4 Квалифицированную помощь экипажам, терпящим бедствие, могут оказать специально подготовленные организации, национальные и международные. Спасательно-координационные центры оценивают ситуацию и подключают к спасению ЭО АСПТР, ЭО АСР и необходимую технику.

На базе отрядов есть суда – спасатели с необходимым оборудованием. Это плавучие средства: понтоны мягкие и жёсткие, плавучие краны и кран – балки для возврата опрокинутых судов в прямое положение. Суда – спасатели должны иметь водолазное снаряжение, оборудование для вылова тонущих людей из воды и многое другое.

Как показала практика, такое оборудование в целях быстроты оказания помощи тонущим людям должно быть на каждом судне. В ГПО «Дальрыба» (г. Владивосток) своими силами решили разработать простое устройство для спасения тонущего человека. Оно действительно оказалось простым и очень опасным для жизни находящихся в воде людей.

На опущенную за борт грузовую стрелу перпендикулярно борту крепилась одним из катетов треугольная в плане сеть. Ещё одним местом крепления сети был форштевень, подводная его часть. При первой же попытке использования этого устройства спасающийся погиб от удара стрелой. Сеть также не лучший элемент этого устройства, так как при зацепе за неё спасающийся может быть погружен в воду и эффект спасения также окажется трагическим. Развитие этого направления системного подхода продолжилось коллективом учёных, преподавателей и сотрудников научной школы «мягкие оболочки» и лаборатории «мягкооболочечные пневматические конструкции» МГУ им. адм. Г.И. Невельского г. Владивосток.

По заданию отдела «Мореплавание» ГПО «Дальрыба» была выполнена разработка мягкооболочечных устройств для индивидуального и группового спасения людей на тихой воде и при действии волнения. Выполненный анализ современных средств, используемых для оказания помощи терпящим бедствие людям, показал, что надо ориентироваться на пассивных спасаемых (обессиленных, замерзающих).

Поэтому проектируемые устройства были активного действия, но вместе с тем и травмобезопасными. Проведённые расчёты, модельные и натурные эксперименты позволили создать устройства эффективнее зарубежных аналогов. В основе устройств были мягкооболочечные пневматические элементы.

На новые устройства для индивидуального и группового спасения людей на воде получены авторские свидетельства.

5 Индивидуальные средства спасения: пробковые круги долгое время были единственным средством удержания на поверхности воды человека. В настоящее время кроме кругов используются ещё и две разновидности жилетов – с пневматическими плавучими элементами и пенопластовыми жёсткими.

Их непрерывная модернизация (лампочка с батарейкой, работающей при попадании в воду, свисток, воротник, удерживающий голову и лицо спасаемого над водой) проводится постоянно. Плавучести размещены так, что обеспечивается минимальное воздействие гидростатического давления воды на нижнюю часть тела, для предотвращения перемещения

массы крови человека в верхнюю часть тела и тем самым повышения давления.

В последние годы в результате разработки новых мягкооболочечных материалов с уникально высоким теплоизолирующим качеством были созданы спасательные костюмы, позволяющие спасаемому человеку сопротивляться гипотермии в течение 5-6 ч.

Случаем, подтверждающим эффективность их применения, было спасение штатных членов экипажа большого автономного траулера-морозильника «Дальний Восток», затонувшего в Охотском море 2 апреля 2015 года. При этом погибли более 50 штатных рыбных обработчиков, не обеспеченных такими костюмами. Но всё же главным недостатком даже этих эффективных индивидуальных средств является ограниченный срок защиты, зависящий ещё и от других обстоятельств.

6 Коллективные спасательные средства: лодки открытые и закрытые, надувные, комбинированные жёстко – надувные, ныряющие лодки и отсеки, капсулы, плоты жёсткие и надувные и т.д. Все они обеспечивают изолирование тела человека от непосредственного давления воды и больший эффект спасения внешней помощью. Шансов быть обнаруженным такое средство имеет значительно большее из-за больших габаритных размеров по сравнению с телом плавающего человека.

Психологический фактор коллективной борьбы за выживание также имеет немаловажное значение. Но у этих более эффективных, чем индивидуальные средства спасения, есть свои недостатки. А именно: устройства требуют применения спусковых механизмов, времени на их подготовку и использование. Они зависимы от посадки аварийного судна, действия волнения и ветра.

Увеличение же продолжительности спасательной операции снижает её эффективность. Она у коллективных спасательных средств (смотри – число спасаемых) различна. У открытых лодок она откровенно низкая – всего 7%. У жёстких плотов около 50%. Сбрасываемые лодки имеют эффективность около 70%. Примерно такая же у спасательного отсека.

Обе эти конструкции непростые по устройству обладают одним и тем же недостатком. При их падении в воду на спасаемых людей действуют ударные нагрузки. Даже специальные ложементы и ремни не всегда спасают от травм. Надувные плоты имеют эффективность, несколько большую 50%. Как коллективное средство спасения они имеют некоторое преимущество над другими средствами.

В силу небольшого веса и компактности в сложенном состоянии, могут быть сброшены в течение небольшого времени за борт руками или всплыть при погружении судна под поверхность воды. Посадка в них может осуществляться либо по мягкооболочечному трапу (аналог самолётного), если борт судна невысокий, либо непосредственно из воды, что требует сил и времени. У них есть свои специфические недостатки. А именно, они опрокидываются под действием ветра и волн. Водяные карманы (несколько штук) и мешок Гивенса под днищем [1] слабо защищают от опрокидывания при волнении и ветре. В [2] автором данной статьи рассмотрен механизм опрокидывания надувных плотов и предложены конструктивные решения для не опрокидывания их и небольших судов.

Из коллективных спасательных средств хорошо себя зарекомендовали специальные спасательные танкерные лодки закрытого типа. Они обладают способностью самостоятельно возвращаться из опрокинутого положения и перемещаться по водной поверхности покрытой горящими нефтепродуктами. Система орошения обеспечивает снижение температуры снаружи и внутри лодки. Попадание людей в такую лодку, как и её спуск, имеют те же трудности, что и другие коллективные спасательные средства.

7 Направление – не аварийные суда, оборудованные успокоителями качки и устройствами, предотвращающими их опрокидывание. Успокоители качки снижают вредное воздействие на людей, оборудование, уменьшают размахи качки, величины ускорений и инерционных усилий. Тем самым, и, кроме того, снижается вероятность тяжёлых аварий (разломов корпуса, опрокидываний). Каждое судно оборудовано системой трубопроводов и насосов, могущих быть использованными для откатки забортной воды или балластирования и повышения тем самым остойчивости.

8 Собственные судовые средства спасения. С гибелью судна, как правило, погибает и экипаж. Рассматривая состояния судна как уровни безопасности находящихся на борту людей, приходим к выводу, что безопаснее всего находиться на нормально функционирующем судне, у которого в результате какого-либо воздействия сохраняются или восстанавливаются (воссоздаются) основные жизнеобеспечивающие мореходные качества: плавучесть, остойчивость.

В случае водотечных повреждений, смещения груза или по другим причинам в действие подключаются свои судовые средства аварийного ремонта: пластыри, перекачка жидких грузов и т.д. На крупных судах длиной более 80 м в период постройки обеспечивается конструктивная непотопляемость. Судно должно выдержать затопление одного, двух или более отсеков.

Практика борьбы за сохранение судов показывает недостаточную эффективность этих мер. Как подтверждение этого, потери судов на всех морях и океанах продолжают. Восьмое Направление – специалисты считают основным [1] или главным в сохранении аварийного судна на плаву. Тогда экипаж не покинет судно.

Оно с восстановленными или компенсированными (воссозданными) мореходными качествами взамен уменьшаемых в результате аварии служит самым надёжным средством для безопасного нахождения в море. Об этом говорят и опытные мореходы. Действительно, даже передвижение по аварийному судну в условиях открытого моря (действия ветра и волн, наличия крена, дифферента) уже представляет опасность.

Подготовка, спуск и посадка в коллективные спасательные средства при этом не всегда благополучны. Дрейф и выживание, ожидание внешней помощи требуют времени и не всегда заканчиваются спасением. Поэтому суда оборудуются средствами, повышающими их надёжность и живучесть. Развитие этого направления (обеспечение непотопляемости и аварийной остойчивости) происходит посредством дополнений, уточнений и обновлений сложившейся классической трёх компонентной системы мер:

- 1) конструктивных;
- 2) организационно-технических (превентивных);
- 3) оперативных (борьбы за сохранение судна на плаву).

*Первая мера:* проектные решения направлены на компенсацию теряемых в случае аварии основополагающих мореходных качеств и защиту морской среды от разливов нефти и нефтепродуктов. Так современное конструктивное решение для крупных танкеров идущих в Арктику, предполагает наличие двойных бортов в районе грузовых танков и двойного дна (требования Конвенции MARPOL 73/78).

Суда, плавающие по Северному морскому пути, должны иметь отстойные танки, отделённые от обшивки корпуса коффердамами. Активизация международного сообщества в этом направлении связана с нарастающими в мире тенденциями сохранения экологической чистоты. Этой же направленности посвящены изобретения различных авторов.

Корпус танкера предлагают защитить от поступления в него забортной воды и утечки нефти в случае пробоины с помощью синтетической (мягкой) оболочки [3, 4]. Добавлением плавучести при получении пробоины предлагается предотвратить опрокидывание и уход на дно аварийного судна в другом изобретении [5].

На внутренних и наружных сторонах бортов предлагается разместить несколько групп надувных оболочек. В другом изобретении предложен плавучий настил из мягкооболочечных труб, которые отводятся от корпуса с помощью штанг [6].

В целях обеспечения гарантированной непотопляемости судна в патенте Франции [7] предлагаются сотообразные панели с мягкими оболочками, смонтированными на водонепроницаемых переборках и под палубами.

*Вторая мера:* организационно-технические мероприятия. Суда постепенно насыщаются системами, устройствами и механизмами, позволяющими не только умерять качку, но и снижать поступление забортной воды при водотечных повреждениях корпуса. На находящихся в эксплуатации судах СА-15 мощные компрессоры обеспечивают создание воздушного давления в верхней части (до пробоины) повреждённого отсека, препятствующего поступлению воды.

Это потребовало обеспечить газовую непроницаемость всех переборок, через которые проходят кабельные трассы и трубопроводы.

*Третья мера:* борьба за сохранение аварийного судна на плаву. Насыщение вновь строящихся судов различными устройствами с течением времени всё более и более увеличивается.

Автоматизация судов растёт. Численность экипажей, наоборот, уменьшается. Борьба за сохранение судна на плаву силами малочисленного экипажа становится всё труднее.

Поэтому всё чаще рассматривается восьмое или главное направление развития системного подхода – сохранение аварийного судна на плаву с помощью дополнительных водоизмещающих объёмов – судовых мягких понтонов. И основным аргументом в пользу этого

служит число людей, спасённых с гибнущих судов. Оно составляет сегодня 50%. В восьмидесятих годах прошлого столетия 43,5%. Подтверждением этого служит и оценка тенденций совершенствования судов через развитие главного направления системного подхода [8].

Всё это ориентирует разработчиков проблемы безопасности на развитие метода сохранения аварийного судна на плаву за короткий промежуток времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Александров, М.Н. Безопасность человека на море / М.Н. Александров. -Л.: Судостроение, 1983. -208 с.

2 Потутаровский, А.И. Обеспечение безопасности на море путём повышения надёжности корпуса судна / А.И. Потутаровский // -Науч. Проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. - 2013 - №2. -С 140-145.

3 Пат. 5520132 США, МПК6 В63В 25/08. Высокопрочная гибкая синтетическая внутренняя вставка для защиты корпусов танкеров от пробоин / W.S. Crippen (USA). -№405,409; заявл. 15.03.95; опубл. 28.05.96. -15 с.

4 Заявка 95122311, МПК В63В 3/24 (1995.1), В63В 3/62 (1995.1). Днищевое перекрытие судна / А.Б. Нестеров, О.М. Палий, В.М. Пашин; ЦНИИ им. А.Н. Крылова. - №95122311/11; заяв. 28.12. 95; опубл. 10.09.97. Бюл. №32.

5 Заявка 2332653 Великобритания, МПК6 В63 В43/14, НПК В7А. Устройство для обеспечения дополнительной плавучести судна / А.М. Alavidan, -№9727344.5; -заявл. 24.12.97; опубл. 30.06.99. -22 с.

6 Заявка 2314814 Великобритания, МПК6 В63 В43/14, НПК7А. Система обеспечения плавучести и предупреждения опрокидывания судна / F.N. Potter, - №9602066.4; заяв. 01.02.96; опубл. 14.01.98. -11 с.

7 Заявка 2735091 Франция, МПК6 В63 В43/14. Сообразные панели, обеспечивающие непотопляемость судна / Р. Here. - №9506903; заявл. 12.6.95; опубл. 13.12.96. -7 с.

8 Потутаровский, А.И. Обоснование необходимости сохранения плавучести и остойчивости аварийных судов эласто-пневмо-конструктивным методом / А.И. Потутаровский // -Науч. проб. трансп. Сиб. и Дал. Вост. - 2017. -№3-4. -С. 82-85.

1 Aleksandrov M.N., Human safety at sea [Bezopasnost' cheloveka na more]. Leningrad: Sudostroenie Publ., 1983. 208 p.

2 Potutarovskiy A.I., Providing safety at sea by improving the vessel hull reliability [Obespechenie bezopasnosti na more putem povysheniya nadezhnosti korpusa sudna]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2013. No. 2. pp. 140-145.

3 Patent US5520132 Containment integrity system for vessels [Pat. 5520132 SShA, MPK6 V63V 25/08. *Vysokoprochnaya gibkaya sinteticheskaya vnutrennyaya vstavka dlya zashchity korpusov tankerov ot proboin*] / W.S. Crippen (USA). -№405,409; заявл. 15.03.95; опубл. 28.05.96. 15 p.

4 Заявка 95122311, МПК В63В 3/24 (1995.1), В63В 3/62 (1995.1). Bottom of the ship [Dnishchevoe perekrytie sudna] / A.B. Nesterov, O.M. Paliy, V.M. Pashin; TsNII im. A.N. Krylova. - №95122311/11; заяв. 28.12. 95; опубл. 10.09.97. Byul. No. 32.

5 Заявка 2332653 Velikobritaniya, MPK6 V63 V43/14, NPK V7A. Buoyancy systems for marine craft [Ustroystvo dlya obespecheniya dopolnitel'noy plavuchesti sudna] / A.M. Alavidan, - №9727344.5; -zayavl. 24.12.97; opubl. 30.06.99. 22 p.

6 Patent application 2314814 Great Britain. System for maintaining buoyancy and preventing ship overturning [Zayavka 2314814 Velikobritaniya, MPK6 V63 V43/14, NPK7A. *Sistema obespecheniya plavuchesti i preduprezhdeniya oprokidyvaniya sudna*] / F.N. Potter, - №9602066.4; заяв. 01.02.96; опубл. 14.01.98. -11 p.

7 Patent application 2735091 France Honeycomb panels providing ship floodability [Zayavka 2735091 Frantsiya, MPK6 V63 V43/14. *Sotoobraznyye paneli, obespechivayushchie nepotoplyаемost' sudna*] / P. Here. - №9506903; заявл. 12.6.95; опубл. 13.12.96. -7 p.

8 Potutarovskiy A.I., Rationale for buoyancy and stability keeping of distressed vessels using stabilization pontoons [Obosnovanie neobkhodimosti sokhraneniya plavuchesti i ostoychivosti aviarynykh sudov elasto-pnevmo-konstruktivnym metodom]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2017. No. 3-4. pp. 82-85.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** развитие системного подхода, главное направление, безопасность на море, плавучесть, остойчивость

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Потутаровский Анатолий Иванович, заведующий лабораторией МГУ им. адм. Г.И. Невельского

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

## ПОСТРОЕНИЕ АППРОКСИМАЦИОННЫХ ВЫРАЖЕНИЙ ГРАФИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ПОДЖАТИЯ СТРУИ НА ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОМЁТНОГО ДВИЖИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

**П.А. Бимбереков, Е.Р. Поттахова, Д.Ю. Рыбников**

**DEVELOPMENT OF APPROXIMATE GRAPHICAL DEPENDENCES OF THE INFLUENCE OF JET CONTRACTION ON HYDROMECHANICAL CHARACTERISTICS OF PUMP JET PROPULSION**  
 Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia  
**Pavel A. Bimberekov** (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences. Assoc. Prof. of SSUWT)  
**Ekaterina R. Pottahova** (Master's Degree of SSUWT)  
**Dmitriy Yu. Rybnikov** (Student of SSUWT)

**ABSTRACT:** The article considers developing of approximate graphical dependences of hydraulic losses, the relationship between the thrust-load coefficient and nett thrust, fluid relative velocity with respect to impeller and the thrust-load coefficient, from the coefficient of jet contraction at the outlet.

**Keywords:** pump jet, jet contraction, hydraulic losses, thrust-load coefficient

Рассматривается получение аппроксимационных выражений графических зависимостей гидравлических потерь, взаимосвязи коэффициента нагрузки по упору и полезной тяги, относительной скорости протекания жидкости через диск винта и коэффициента нагрузки по упору, от коэффициента поджатия струи при выходе из водомёта.



В данной статье продолжается начатая ранее работа по получению аналитических выражений для ряда параметров водомётных движителей, информация о которой приведена в [1]. Целью получения аналитических выражения является их удобство для составления расчётных программ определения параметров движителей на ЭВМ. В качестве исходных данных взяты экспериментальные графические зависимости влияния поджатия струи на гидромеханические характеристики водомётного движительного комплекса по [2]. Обработка велась с использованием способа по [3, 4]. На рисунках 1-3 представлено сопоставление исходных данных – точки, с аппроксимационными выражениями всего поля данных соответственно зависимостями (1)-(3) – линии (рисунок 1а, 1б и 3а), и погрешностей полученных выражений (рисунок 1б, 2б и 3б). На рисунке 1 дана оценка влияния поджатия струи на гидравлические потери в водомётной трубе  $\zeta = f(\beta_a)$ , где коэффициент  $\beta_a$  представляет собой отношение площади струи движителя при выходе из тубы водомёта  $F_a$ , к площади диска движителя  $F_p$  [1].

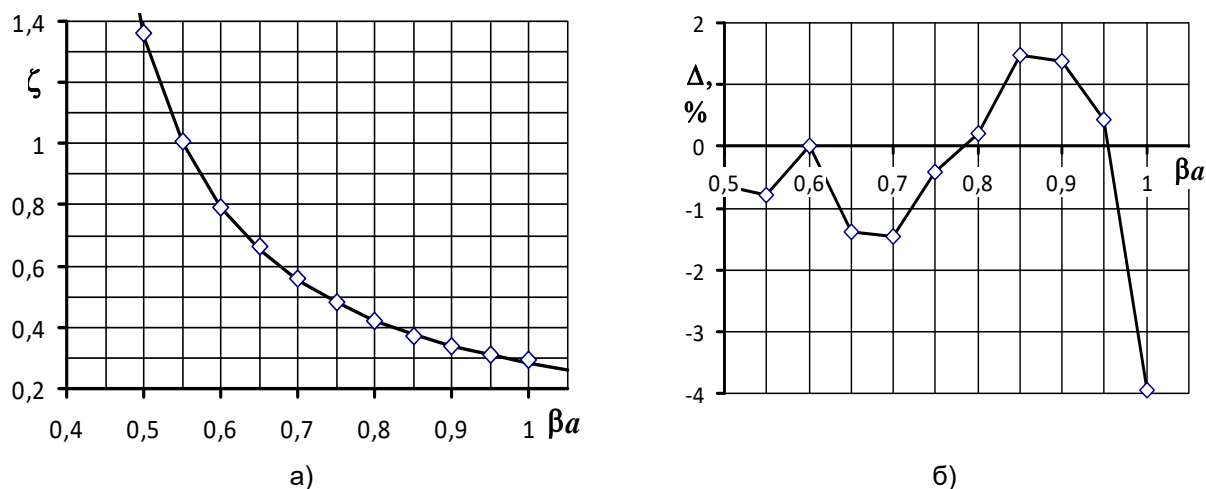


Рисунок 1 – Влияние поджатия струи на гидравлические потери в водомётной трубе  $\zeta = f(\beta_a)$

$$\zeta = 0,18(\beta_a - 0,34)^{-1,1}. \quad (1)$$

Погрешность выражения (1) во всём рассмотренном диапазоне значений  $\beta_a$  за исключением точки  $\beta_a = 1$  лежит в пределах  $\pm 1,5\%$ , что можно считать удовлетворительным. В точке  $\beta_a = 1$  погрешность равна 0,012 или 3,95% от значения эксперимента, что можно считать допустимым.

На рисунке 2 представлена полученная на основе эксперимента зависимость коэффициента нагрузки винта водомёта по упору  $\sigma_p$ , от коэффициента нагрузки комплекса по полезной тяге  $\sigma'_e$ , при различных значениях  $\beta_a$ . Для указанных коэффициентов имеют место следующие выражения

$$\sigma_p = \frac{2P}{\rho V^2 F_p}; \quad \sigma'_e = \frac{2P_e}{\rho V^2 F_p},$$

где  $P, P_e$  – соответственно упор и полезная тяга движителя;

$\rho$  – плотность воды;

$V$  – скорость хода судна;

$F_p$  – площадь гидравлического сечения движителя.

$$\sigma_p = (0,321\beta_a^3 - 0,86\beta_a^2 + 0,77\beta_a - 0,24)\sigma_e'^2 + \frac{\sigma_e'}{1,16 + 0,7\ln(\beta_a)} - 0,9\beta_a^2 + 1,25\beta_a + 0,0015. \quad (2)$$

Погрешность выражения (2) во всём рассмотренном диапазоне значений  $\beta_a$  лежит в пределах  $\pm 2,65\%$ , что можно считать допустимым.

На рисунке 3 представлена зависимость изменения относительной скорости протекания жидкости через диск винта  $\bar{V}_s$ , от величины коэффициента  $\sigma_p$  и для различных значений  $\beta_a$ .

Для  $\bar{V}_s$  справедлива зависимость

$$\bar{V}_s = V_s/V = \lambda_s/\lambda,$$

где  $\lambda_s, \lambda$  – относительные поступи по скоростям  $\bar{V}_s$  и  $V$  для данного винта диаметром  $D$ , и частоте вращения  $n$

$$\lambda_s = V_s / (nD); \lambda = V / (nD).$$

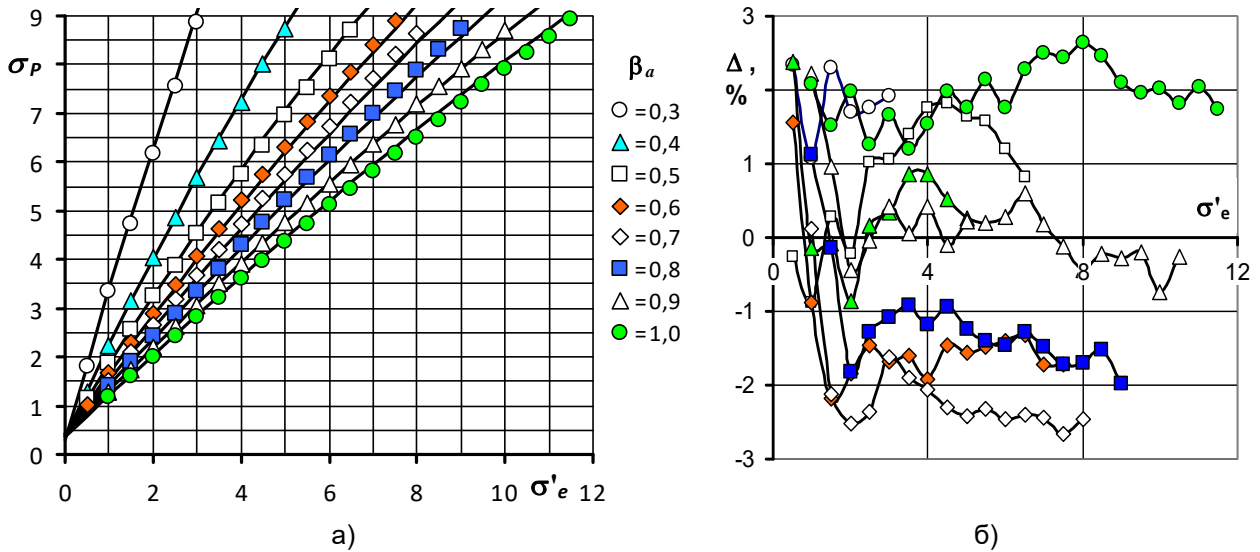


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента нагрузки винта водомёта по упору  $\sigma_p$ , от коэффициента нагрузки комплекса по полезной тяге  $\sigma'_e$

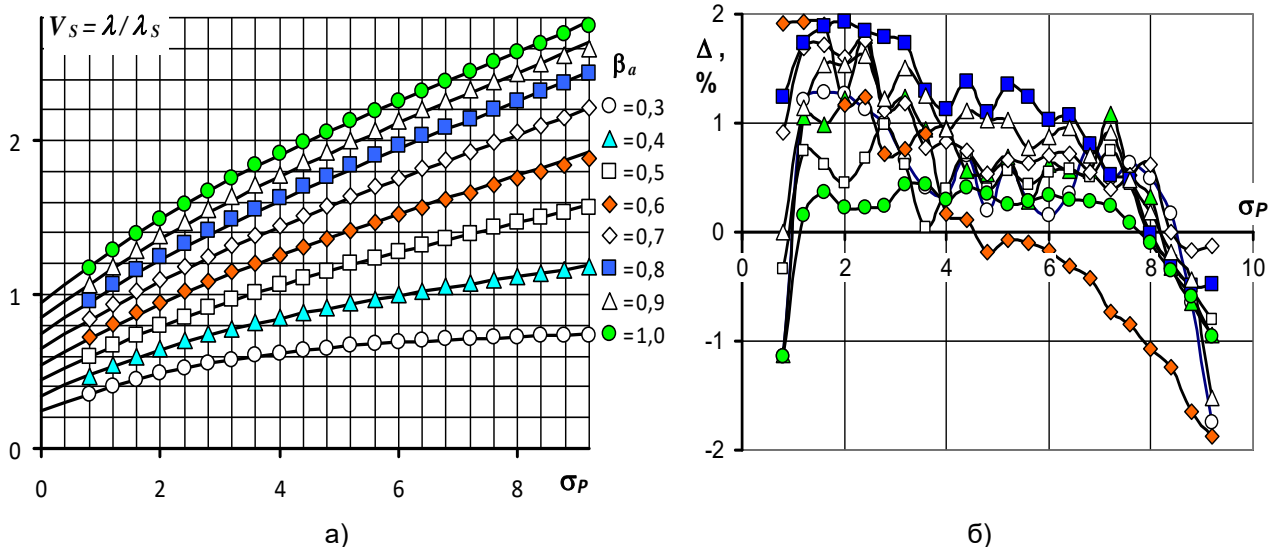


Рисунок 3 – Зависимость изменения относительной скорости протекания жидкости через диск винта  $\bar{V}_s$ , от величины коэффициента  $\sigma_p$

$$V_s = (0,0026\beta_a^2 - 0,0031\beta_a + 0,0015)\sigma_p^3 + (-0,054\beta_a^2 + 0,066\beta_a - 0,0331)\sigma_p^2 + (0,22\beta_a + 0,088)\sigma_p + 1,01\beta_a - 0,06. \quad (3)$$

Погрешность выражения (3) во всём рассмотренном диапазоне лежит в пределах  $\pm 2,0\%$ , что можно считать удовлетворительным.

Полученные аппроксимационные выражения удовлетворительно соответствуют восстановленным числовым данным и могут служить составлению расчётных программ на ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Бимбереков, П.А. Построение аппроксимационных выражений графических зависимостей влияния мелководья на коэффициент засасывания водомётного комплекса водоизмещающих судов / П.А. Бимбереков // - Науч. проб. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2017. -№1-2. -С. 64-65.

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

1 Bimberekov P.A., Approximation the graphical dependences of the shallow water effect on thrust deduction factor of the water jet engines in displacement ships [Postroenie approksimatsionnykh vyrazheniy graficheskikh zavisimostey vliyaniya melkovod'ya na koeffitsient zasasyvaniya vodometnogo kompleksa vodoizmeshchayushchikh sudov]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2017. No. 1-2. pp. 64-65.

2 Basin A.M., Ship performance and controllability [*Khodkost' i*

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

4 Пат. №2626342 Российская Федерация, МПК G 06 F 17/10. Способ восстановления числовых данных по графическим зависимостям / Бимбереков П.А. – №2013117631; заявл. 04.05.2016; опубл. 26.07.2017, Бюл. №21. -2 с.

*upravlyaemost' sudov*]. Moscow: Transport Publ. 1964. 476 p.

3 Bimberekov P.A., The method of restoring numerical data from graphical dependencies and obtaining approximations for water jet engines of displacement vessels [Sposob vosstanovleniya chislovykh dannykh po graficheskim zavisimostyam i poluchenie approksimatsionnykh vyrazheniy vodometnykh dvizhiteley vodoizmeshchayushchikh sudov] *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2015. No. 3. pp. 118-122.

4 Bimberekov P.A., Method of restoring numerical data using graphical dependencies [Sposob vosstanovleniya chislovykh dannykh po graficheskim zavisimostyam] *Izobreteniya Poleznye modeli*. July. 26, 2017. No. 21, 2 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** водомётный движитель, поджатие струи, гидравлические потери, коэффициент нагрузки по упору  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Бимбереков Павел Александрович, докт. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
Поттахова Екатерина Равильевна, магистрант ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
Рыбников Дмитрий Юрьевич, студент ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

## **АНАЛИЗ НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЁННЫХ ГИБКИХ НИТЕЙ**

**ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»**

**А.И. Заводовская**

### **ANALYSIS OF NONLINEAR DEFORMATION OF PRELIMINARY STRESSED STAY CABLES**

Maritime State University named after admiral G.I.Nevelskoi (MSU named after adm. G.I.Nevelskoi) 50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia

Anna I. Zavodovskaia (Assoc. Prof. of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

---

**ABSTRACT:** Stay cables are used for fixing the soft-shell windproof structure for the towers of the floating dock. The article presents the results of numerical studies of stay cable deformation under the longitudinal and transverse load. A comparative analysis of windproof structure permeability influence to the stress-strain state of the stay cable is performed.

**Keywords:** floating dock, windproof structure permeability, soft shell, stay cable

---

Для крепления мягкооболочечного торцового ветрозащитного закрытия на башни плавучего дока используются тросы. Представлены результаты численных исследований деформирования гибкой нити под действием продольной и поперечной нагрузки. Проведён сравнительный анализ влияния проницаемости закрытия на напряжённо-деформированное состояние несущего троса.

Наиболее экономичными для ограждения больших пролётов являются пространственные висячие комбинированные мягкооболочечные конструкции, в которых растянутые гибкие нити являются основными несущими элементами. Работа висячих конструкций на растяжение позволяет полностью использовать механические свойства высокопрочных материалов. Основным недостатком висячих конструкций является их повышенная деформативность. Для уменьшения упругих и кинематических перемещений от действия временной нагрузки применяют различные способы стабилизации висячих конструкций: уменьшение стрелки провисания несущей нити, создание предварительного натяжения, увеличение доли постоянной нагрузки, совместная работа гибких нитей и мембран и др. Одним из эффективных способов стабилизации висячих мягкооболочечных конструкций является использование усиливающих канатов или тросовых сеток.

Настоящая работа посвящена анализу формообразования и напряжённо-деформированного состояния несущего троса и тросовой системы мягкооболочечного ветрозащитного закрытия торца плавучего дока, выполненного на основании патента [1], в зависимости от проницаемости полотнища в геометрически нелинейной постановке. Коэффициент проницаемости определяется отношением суммы площадей просветов к площади проекции конструкции закрытия на вертикальную плоскость [2].

Комбинированное закрытие выполнено в виде шторы из эластичных клапанов в форме трапеции, закрепленных по трём сторонам на горизонтальных и вертикальных фалах. Полотнище шторы по нижней и верхней кромке закреплено с помощью металлических тросов между башнями рабочего торца дока. Основным несущим элементом конструкции является верхний трос.

В качестве основного расчётного метода принят метод конечных элементов в форме

метода перемещений. При составлении расчётных схем мягкая оболочка аппроксимируется нерегулярным набором плоских треугольных конечных элементов. Расчётной моделью тросов служит гибкая нить, в качестве расчётной схемы которой принята шарнирно-стержневая система. Гибкая нить под нагрузкой всегда находится в условиях центрального растяжения.

Для несущего троса используется дискретная модель гибкой нити в виде шарнирной цепи, состоящей из элементов параболического очертания. Примем, что для несущего троса опорные точки расположены на одном уровне и постоянная поперечная нагрузка  $q$  на несущий трос от собственного веса и веса полотнища равномерно распределена по всему пролёту нити  $\ell$ . В этом случае нить будет очерчена по квадратной параболе, распор в середине пролёта при равномерно распределённой постоянной нагрузке определяется выражением

$$H = \frac{q\ell^2}{8f}.$$

Сила натяжения нити в произвольной точке определяется по формуле

$$T = \frac{H}{\cos \alpha},$$

полные реакции опор

$$T_{\max} = H\sqrt{1 + \frac{16f^2}{\ell^2}}.$$

Целью настоящего исследования является сравнительный анализ напряжённо-деформированного состояния несущего троса закрытия торца дока с двумя вариантами закрепления клапанов в полотнище:

Вариант 1 – клапан фиксируется по нижней и боковым сторонам трапеции, расчётная схема тросовой системы состоит из вертикальных и горизонтальных тросов (рисунок 1);

Вариант 2 – клапан фиксируется по двум боковым сторонам трапеции, в расчётной схеме присутствуют только вертикальные тросы.

Уменьшить деформативность закрытия можно путём «ужесточения» конструкции, например, исключить колебательные движения нижнего троса, если класть на него грузы. Примем, что если на нижний трос кладётся временный пригруз, то имеет место его жёсткое защемление и в этом случае нижний трос «закреплён», в противном случае «свободен». Расчётная схема тросовой системы с несущим и нижним тросами приведена на рисунке 1. Конструкция с 6 клапанами по высоте и 20 по ширине полотнища состоит из 960 треугольных конечных элементов (КЭ), а с 8 клапанами – из 1280 треугольных КЭ. Тросовая система моделируется шарнирно-стержневой системой из 556 и 720 КЭ соответственно.

Численный расчёт выполнен для четырех вариантов конструкции разной проницаемости, содержащих по 20 клапанов по ширине и от 5 до 8 клапанов по высоте полотнища. Ветровая нагрузка с учётом пульсационной составляющей определялась по методике, предложенной в [2], для ветрозащитного закрытия, установленного на доке в IV ветровом районе.

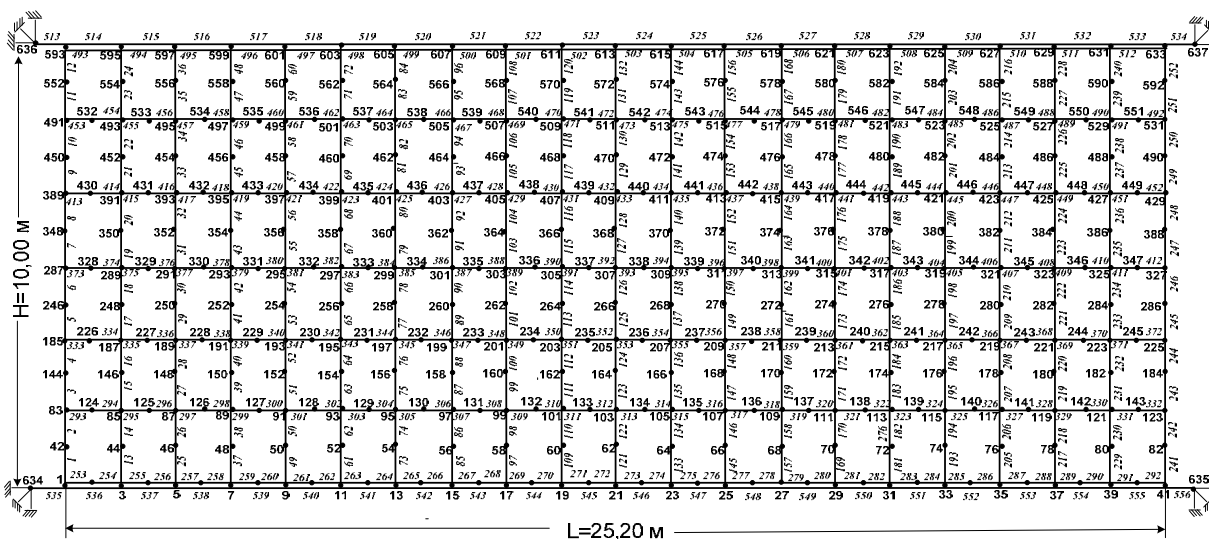


Рисунок 1 – Расчётная схема тросовой системы с несущим и нижним тросами (нумерация узлов и стержней)

На рисунке 2 приведено изменение по высоте дока ветровой нагрузки на закрытие для варианта с 8 клапанами по высоте полотнища, проницаемостью  $\mu = 8,4\%$ , аэродинамический коэффициент  $c = 0,557$ .

Материал оболочки выбран типа 8-98 с двусторонним покрытием. Тросы верхний и нижний – канат двойной свивки типа ЛК РО 6×36(1+7+7/7+14)+7×7(1+6) по ГОСТ 7669-80 диаметром 28 мм. Вертикальные и горизонтальные фалы – канат полиамидный тросовой свивки по ГОСТ 30055-93 диаметром 10 мм. Боковые кромки полотнища усилены по периметру капроновым канатом диаметром 22,3 мм.

Численный эксперимент выполнен для плавучего дока пр.1760, 1760 ПР грузоподъемностью 8500 т. В основу программ, написанных в среде Delphi 7, положена система математического обеспечения «Прочность-75», приспособленная к современным вычислительным системам и дополненная программными модулями.

На рисунке 3 приведены графики изменения усилий в несущем и нижнем тросах от параметра нагрузки при условии, что нижний трос «свободен». Увеличение проницаемости закрытия с 8,4% до 20,1% приводит к снижению усилий в несущем тросе при  $\lambda = 0,5$  на 12,01%, при  $\lambda = 1,0$  на 15,32%. При этом усилия в нижнем тросе уменьшаются при  $\lambda = 0,5$  на 27,63%, а при  $\lambda = 1,0$  на 24,75%. Влияние на усилия в несущем и нижнем тросах способа закрепления клапанов по предложенным двум вариантам незначительно. В случае варианта 2 при  $\lambda = 1,0$  усилия в несущем тросе при  $\mu = 8,4\%$  больше на 2,10 %, а при  $\mu = 20,1\%$  – на 4,46% по сравнению с вариантом 1.

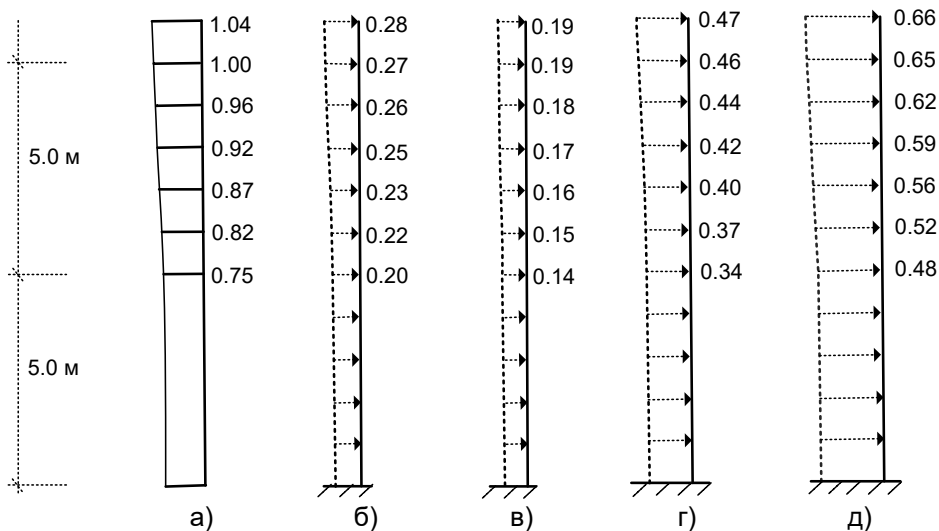


Рисунок 2 – Изменение ветровой нагрузки на ветрозащитное проницаемое закрытие по высоте: а)-коэффициент  $k(z)$ ; б)-нормативные значения средней (статической) составляющей; в)-нормативные значения пульсационной составляющей; г)-нормативное значение; д)-расчётное значение

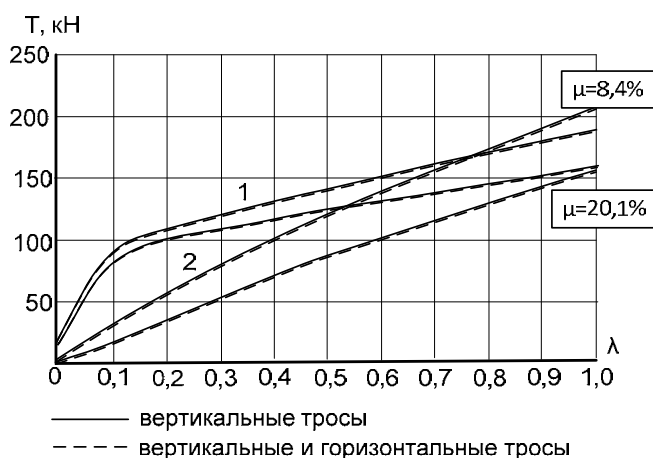


Рисунок 3 – Изменение усилий в несущем и нижнем тросах в зависимости от проницаемости и параметра нагрузки: 1-несущий трос; 2-нижний трос «свободен»

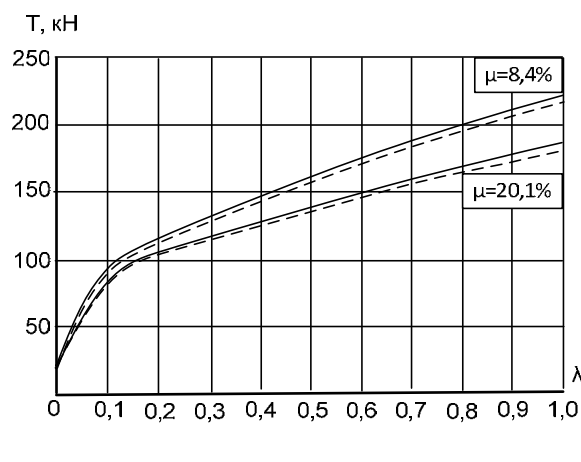


Рисунок 4 – Изменение усилий в несущем тросе в зависимости от проницаемости и параметра нагрузки, нижний трос «закреплён»

При условии «закрепления» нижнего троса повышение проницаемости с 8,4% до 20,1% снижает усилия в несущем тросе при  $\lambda = 0,5$  на 18,19% (рисунок 4). При  $\lambda = 0,5$ ;  $\mu = 8,4\%$  уси-

лия в несущем тросе в случае варианта 2 больше на 3,12%, а при  $\mu = 20,1\%$  – на 2,86% по сравнению с вариантом 1.

При закреплении клапанов по варианту 1 увеличение проницаемости с 8,4% до 20,1% приводит к уменьшению усилий в несущем тросе (рисунок 5): если нижний трос «закреплен», то при  $\lambda = 0,5$  на 13,2%; при  $\lambda = 1,0$  на 15,4%; если нижний трос «свободен», то при  $\lambda = 0,5$  на 12,0%; при  $\lambda = 1,0$  на 15,3%. При этом усилие в нижнем тросе уменьшается при  $\lambda = 0,5$  на 27,6%; при  $\lambda = 1,0$  на 24,7%.

Коэффициент проницаемости, являющийся аэродинамическим демпфированием, существенно влияет на динамику. При увеличении проницаемости с 8,4% до 20,1% величина максимального усилия в несущем тросе снижается на 13,66% при  $\lambda = 0,5$ , нижний трос «закреплен» (рисунок 6). Конструктивное исполнение закрытия по варианту 1 снижает усилия в несущем тросе на 1,86% по сравнению с вариантом 2.

На рисунке 7 приведены результаты численных расчётов форм несущего троса в зависимости от коэффициента проницаемости и параметра нагрузки при закреплении клапанов по варианту 1, нижний трос «закреплён». Расчёты показывают, что при принятых исходных данных максимальное вертикальное перемещение несущего троса 0,89 м, горизонтальное 0,75 м при  $\mu = 8,4\%$ ,  $\lambda = 1,0$ ; при  $\mu = 20,1\%$  они равны 0,85 м и 0,63 м, то есть уменьшение на 4,5% и 16,0% соответственно. Увеличение проницаемости с 8,4% до 20,1% в большей степени вызывает уменьшение горизонтального перемещения троса. Если нижний трос «свободен», то максимальное вертикальное и горизонтальное перемещения несущего троса соответственно равны 0,62 м и 0,86 м при  $\mu = 8,4\%$ ; 0,64 и 0,72 при  $\mu = 20,1\%$ .

Выполненные исследования показали, что увеличение проницаемости снижает ветровую нагрузку на закрытие, и как следствие на несущий и нижний крепёжные тросы. При этом уменьшаются вертикальные и горизонтальные перемещения в несущем тросе. Увеличение проницаемости закрытия с 8,4% до 20,1% приводит к снижению усилий в несущем тросе примерно в диапазоне от 10% до 30% в зависимости от параметра нагрузки и состояния нижнего троса, «закреплён» он или «свободен».

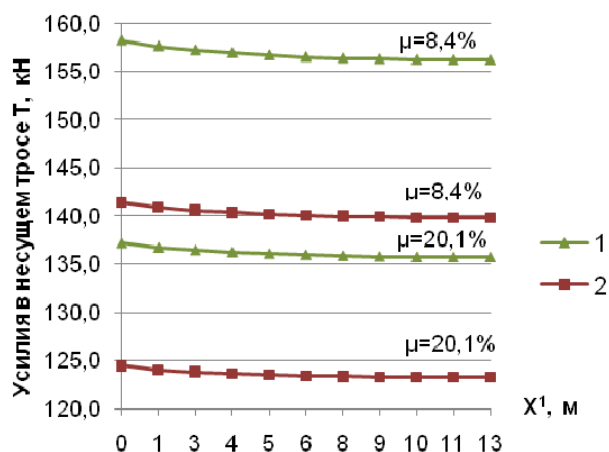


Рисунок 5 – Изменение усилий в несущем тросе при параметре нагрузки  $\lambda = 0,5$ , вариант 1 закрепления клапанов в зависимости от проницаемости полотна при условии: 1- нижний трос «закреплен»; 2- нижний трос «свободен»

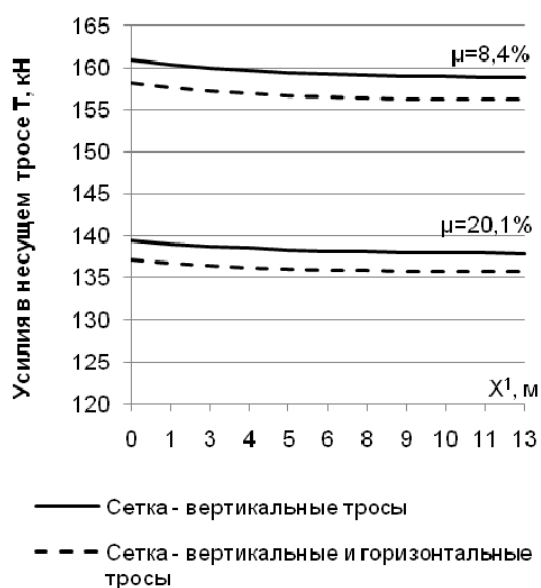


Рисунок 6 – Изменение усилий в несущем тросе в зависимости от проницаемости для двух вариантов закрепления клапанов, нижний трос закреплён, параметр нагрузки  $\lambda = 0,5$

Проницаемость ветрозащитного закрытия исключает необходимость применять для стабилизации более тяжёлые материалы ткани и предварительное натяжение несущего троса большими усилиями.

Влияние способа закрепления клапанов по двум предложенным вариантам на усилия в несущем и нижнем тросах незначительно. Конструктивное исполнение полотна закрытия

по варианту 1 уменьшает усилия в несущем тросе при  $\mu = 8,4\%$  на 1,86%, при  $\mu = 20,1\%$  на 4,46% по сравнению с вариантом 2. Поэтому экономически оправдано изготовление закрытия с закреплением клапанов в полотнище по двум сторонам.

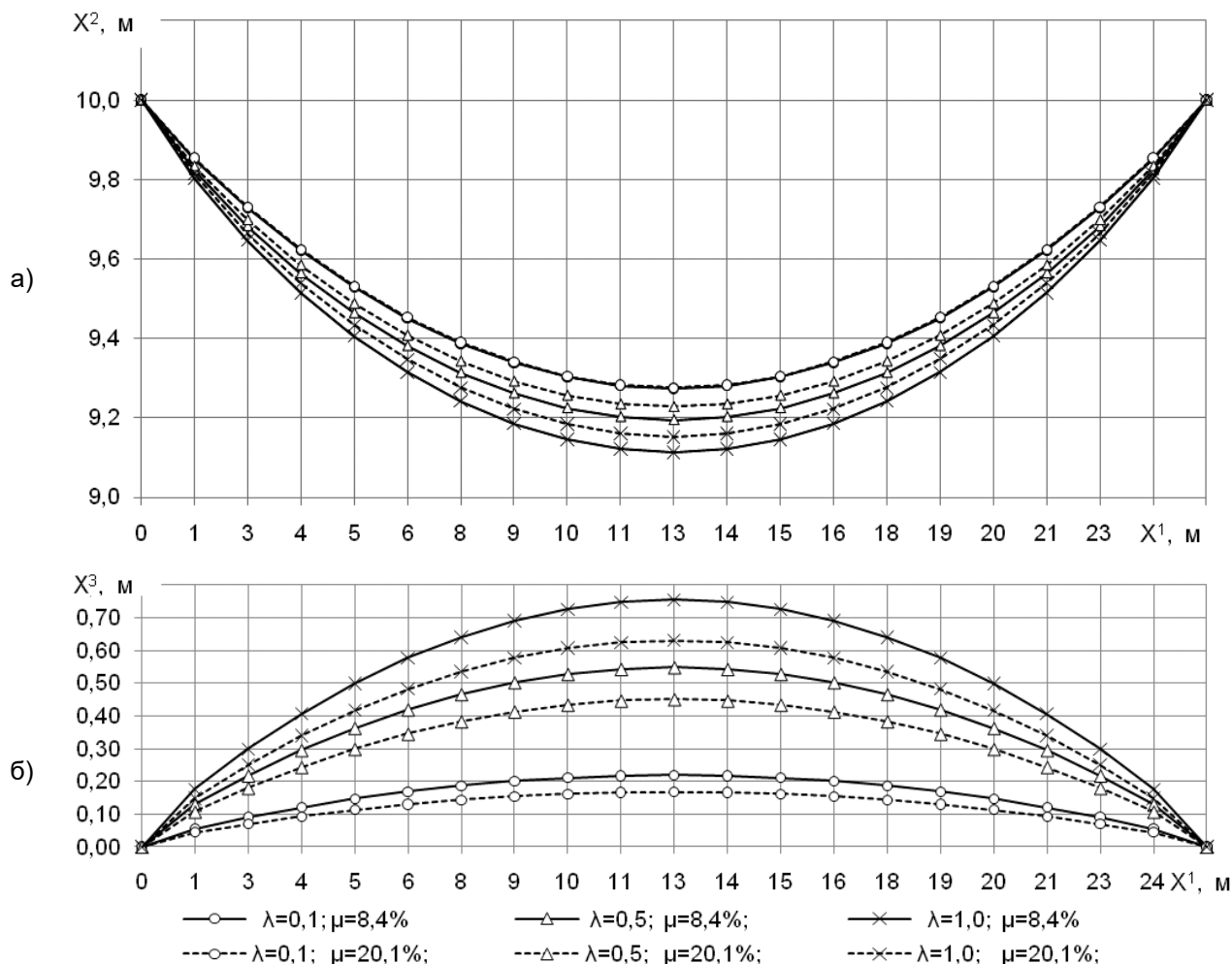


Рисунок 7 – Изменение значений вертикальных  $X^2 = f(X^1)$  (а) и горизонтальных  $X^3 = f(X^1)$  (б) перемещений несущего троса в зависимости от параметра нагрузки  $\lambda$  и проницаемости  $\mu$ , нижний трос «закреплён» к стапель палубе, вариант 1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 А.с. 1622222 СССР, МКИ5 В 63 С 5/00. Ветрозащитное закрытие / С. А. Огай, В. В. Малышкин (СССР). - №4640610/11; заявл. 26.12.88; опубл. 23.01.91, Бюл. №3. - 8 с.

2 Азовцев, А.И. Матричный расчёт мягкооболочечных ветрозащитных закрытий с применением комбинированных моделей / А.И. Азовцев, А.С. Огай, А.И. Заводовская // -Морские интеллектуальные технологии. -2017. -№3 (37). -Т.2. -С. 71-80.

3 Рекомендации по выбору типа, количества и расположения ветрозащитных устройств на плавучих доках: РД 31.83.06-83. -М.: Мортехинформреклама, 1984. -31 с.

4 Заводовская, А.И. Комплекс программ для исследования сильно-нелинейных комбинированных мягкооболочечных конструкций / А.И. Заводовская // Мат-лы шестой между. науч.-практ. конф.: Проблемы транспорта Дальнего Востока. -Владивосток: Изд-во Мор. гос. унив., 2005. -С. 230-232.

1 Ogay S.A., Malyskin V.V., Windproof structure [Vetrozashchitnoe zakrytie]. Izobreteniya Poleznye modeli. January. 23, 1991. No. 3, 8 p.

2 Azovtsev A.I., Ogay A.S., Zavadovskaya A.I., Matrix approach to soft-shell windproof composed structures [Matrichnyy raschet myagkoobolochechnykh vetrozashchitnykh zakrytiy s primeneniem kombinirovannykh modeley]. *Morskije intellektual'nye tekhnologii*. 2017. No. 3 (37). Vol. 2. pp. 71-80.

3 Recommendations for the selection of the type, number and location of windproof structures in floating dry docks [Rekomendatsii po vyboru tipa, kolichestva i raspolozheniya vetrozashchitnykh ustroystv na plavuchikh dokakh]. Moscow: Mortekhninformreklama Publ. 1984. 31 p.

4 Zavadovskaya A.I., Software system for the study of highly-nonlinear composed soft-shell structures [Kompleks programm dlya issledovaniya sil'no-nelineynykh kombinirovannykh myagkoobolochechnykh konstruktsiy]. *Problemy transporta Dal'nego Vostoka*. Vladivostok: Maritime st. univ. Publ. 2005. pp. 230-232.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: плавучий док, проницаемость ветрозащитного торцового закрытия, мягкая оболочка, гибкая нить

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Заводовская Анна Ивановна, доцент МГУ им. адм. Г.И. Невельского  
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, МГУ им. адм. Г.И. Невельского



## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

В.И. Кочергин

### IMPROVEMENT THE AUTOMATIC RPM CONTROL SYSTEMS

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

Viktor I. Kochergin (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of STU)

**ABSTRACT:** The necessity and ways of improving the automatic RPM control systems at ship power plants are grounded. The article shows an example of enhanced unit for automatic RPM control.

**Keywords:** automatic RPM control, insensibility rate, proportional-plus-integral controller

Обоснованы необходимость и пути совершенствования систем автоматического регулирования частоты вращения судовых энергетических установок. Приведен пример усовершенствованной конструкции устройства для регулирования частоты вращения.

Как известно, вращение коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания (ДВС), являющегося основой большинства судовых энергетических установок (СЭУ), характеризуется неравномерностью вращения, суммирующейся с неравномерностью вращения валопроводов. Неравномерность вращения возникает в связи с наличием целого ряда причин, таких, как неизбежная неравномерность крутящего момента в рабочем цикле ДВС; неравномерность внешней нагрузки; наличие неуравновешенных сил и моментов; различное техническое состояние отдельных цилиндров двигателя; стохастичность процессов сгорания топлива и последующего расширения рабочего тела; существование крутильных колебаний коленчатого вала и валопроводов; фазовое запаздывание в системе автоматического регулирования частоты вращения (САРЧ).

В связи с этим, при эксплуатации двигателей внутреннего сгорания необходимо обеспечение минимизации совокупного влияния неравномерности крутящего момента и неравномерности внешней нагрузки на динамические и эффективные показатели судовых энергетических установок, при эксплуатации которых особенно важно обеспечить устойчивую работу главных двигателей вне зависимости от погодных условий. Неравномерность вращения гребных винтов, возникающая в условиях качки вследствие погружения винтов в воду и выхода из воды, безусловно, требует качественной работы САРЧ. Учитывая, что малооборотные судовые двигатели с прямой передачей на винт обладают по сравнению с паровыми турбинами относительно небольшими приведенными моментами инерции, СЭУ с дизельными двигателями внутреннего сгорания достаточно чувствительны к периодическому изменению нагрузки на гребной винт при плавании в условиях свежей и штормовой погоды [1].

Двигатель внутреннего сгорания можно представить в виде совокупности подвижной механической системы кривошипно-шатунного механизма или собственно двигателя, термодинамической системы, определяющей протекание термических и газодинамических процессов в различных системах ДВС, и системы автоматического регулирования частоты вращения коленчатого вала [2]. Но при исследовании динамических свойств энергетических установок на первое место обычно ставятся двигатель внутреннего сгорания и его термодинамическая система без учета совместного движения ДВС и системы автоматического регулирования частоты вращения.

Тем не менее, именно регулятор частоты вращения определяет динамические свойства двигателя либо электропривода и, следовательно, техническое состояние систем автоматического регулирования должно непременно контролироваться в условиях эксплуатации [3, 4]. Также необходимо постоянное совершенствование САРЧ с целью обеспечения оптимального сочетания характеристик процесса регулирования и параметров неравномерности крутящего момента, приведенного к коленчатому валу дизельной энергетической установки.

Одним из таких направлений совершенствования, безусловно, является оснащение современных судовых энергетических установок системами регулирования с электронными, электромеханическими или пневматическими элементами и, как правило, включение САРЧ в общую систему автоматического управления судна, обеспечивающую, помимо функций ре-

гулирования частоты вращения, автоматизацию процессов пуска, реверса, изменения режима работы двигателей с дистанционным заданием команд с мостика, а также регулирование шага гребных винтов. По сути, САРЧ в данном случае становится лишь элементом системы управления подачей топлива или более глобальной системы управления. Но, кроме конструктивных и структурных изменений в системах автоматического регулирования частоты вращения, необходима реализация еще целого ряда научных задач.

Во-первых, необходимо оптимизировать величины постоянной регулятора, то есть, времени измерения значений выходного параметра, и времени запаздывания (времени срабатывания) регулятора, которые оказывают существенное влияние на процесс регулирования. Пример такого влияния, иллюстрирующий зависимость процессов регулирования частоты вращения от инерционности элементов САРЧ, приведен на рисунке 1 [1]. Если для механических центробежных регуляторов данные величины рассчитывались с учетом различия кинематических схем регулирующих устройств, то в современных системах с электронным управлением, как правило, этим показателям не придается должного внимания.

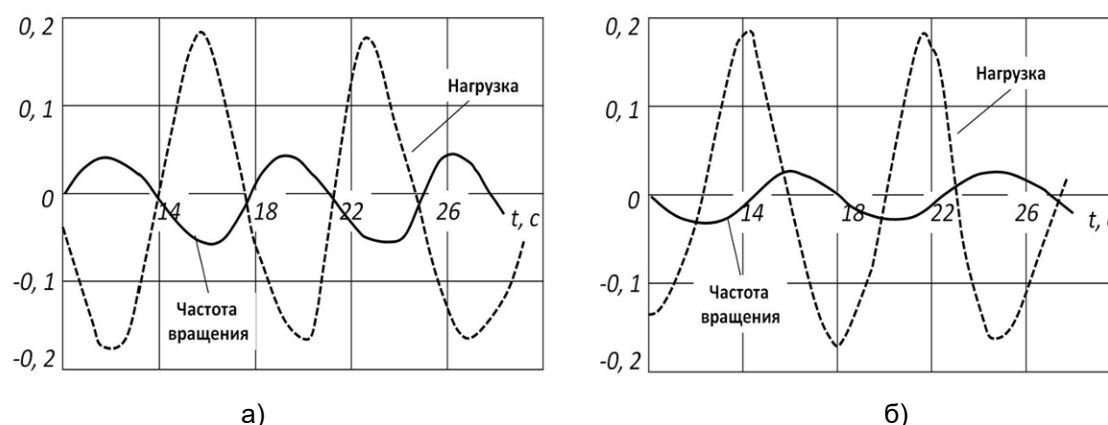


Рисунок 1 – Изменение частоты вращения коленчатого вала судового двигателя при регулярном волнении в баллов и при изменении постоянной времени регулятора: а)-1,2 с; б)-0,1 с

Во-вторых, необходима разработка методов контроля и регулирования аналогичного показателя, определяющего свойства не только регулятора частоты вращения, но и привода управления подачей топлива, а именно степени нечувствительности регулятора. На величину степени нечувствительности влияют силы трения и люфты в кинематических парах механических элементов регуляторов, зазоры в контактах электрических систем управления, вязкость рабочей жидкости в гидравлических управляющих системах, параметры настройки электронных систем управления и целый ряд других причин. В общем случае оценивать величину данного параметра следует по разности между частотами вращения, при которых регулятор начинает перемещать рейку топливного насоса либо иной исполнительный орган топливоподачи после увеличения или уменьшения подачи топлива, но доступных методик определения зоны нечувствительности в условиях производства и эксплуатации СЭУ не существует. Наличие степени нечувствительности необходимо учитывать при работе двигателя в условиях низких температур окружающего воздуха, а также в связи с изменением параметров неравномерности вращения коленчатого вала и условий работы регулятора частоты вращения при изменении кинетики горения рабочей смеси, например, в случае использования альтернативных видов топлива [5].

Третьим направлением повышения качества процессов регулирования является использование пропорционально-интегральных регуляторов с дополнительным воздействием по производной, которое может способствовать более интенсивному затуханию колебаний регулируемого параметра в переходных процессах и компенсации фазовых отставаний перемещения рейки топливного насоса от изменения регулируемой частоты вращения коленчатого вала ДВС. Регуляторы с дополнительным каналом воздействия по дифференциальному сигналу регулируемой величины могут, например, предотвратить резкое увеличение частоты вращения двигателя в моменты осушения гребного винта, но находят в настоящее время достаточно ограниченное применение в судовых энергетических установках [6].

Для реализации снижения величины фазового запаздывания процессов регулирования за счет оперативного воздействия на орган управления топливоподачей предлагается пропорционально-интегральный регулятор, обеспечивающий упреждающее воздействие по

производной на положение исполнительного механизма регулятора подачи топлива с учетом скорости изменения регулируемого параметра. Функциональная схема устройства для регулирования частоты вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания с воздействием по производной представлена на рисунке 2.

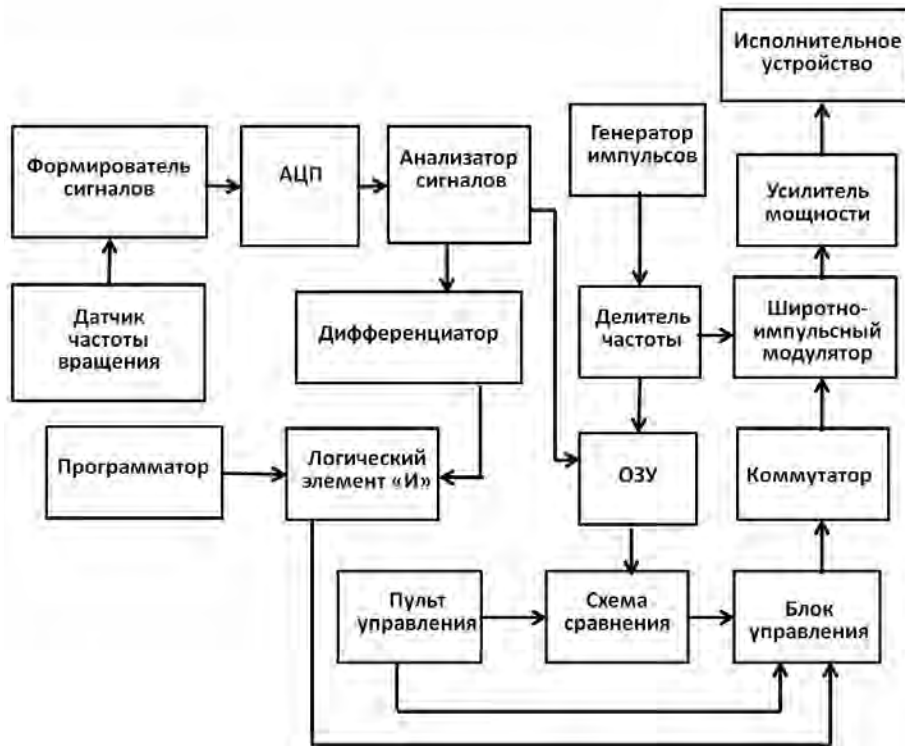


Рисунок 2 – Функциональная схема устройства для регулирования частоты вращения коленчатого вала ДВС с воздействием по производной

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Первоначально осуществляют монтаж датчика частоты вращения, закрепляемого на двигателе внутреннего сгорания, например, на носке коленчатого вала. Затем монтируется исполнительное устройство регулятора подачи топлива на приводе рейки топливного насоса. В процессе работы сигналы от датчика частоты вращения поступают на формирователь сигналов, далее на аналого-цифровой преобразователь и, после преобразования в двоичный цифровой код и выхода из аналого-цифрового преобразователя, на вход анализатора сигналов. На этом этапе оцифрованные значения сигнала датчика частоты вращения, например, энкрементального энкодера, в результате анализа превращаются в одномерный массив временных меток формата  $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$ , где период между двумя временными метками является шагом энкодера, и в дальнейшем преобразуются программным обеспечением анализатора сигналов путем соответствующих вычислений в физические характеристики – частоту вращения и ускорение. Частота вращения определяется по формуле

$$n_i = (t_i - t_{i-1})^{-1},$$

где  $t_i, t_{i-1}$  – время, соответствующее точкам с частотой вращения соответственно  $n_i$  и  $n_{i-1}$ .

Для управления заданным режимом работы двигателя внутреннего сгорания значения частоты вращения поступают на первый вход оперативного запоминающего устройства и далее на второй вход схемы сравнения. В случае несовпадения сигналов от пульта управления о заданных значениях частоты вращения и ее текущих значений схема сравнения подает управляющий сигнал на второй вход блока управления, который посредством коммутатора, широтно-импульсного модулятора, усилителя мощности сигнала и исполнительного устройства регулятора подачи топлива регулирует топливоподачу, например, перемещая рейку топливного насоса высокого давления в сторону уменьшения либо увеличения подачи топлива.

Полученные с помощью анализатора сигналов значения частоты вращения передаются также на вход дифференциатора. Здесь интенсивность изменения частоты вращения (угло-

вое ускорение коленчатого вала) рассчитывается как дифференциал приращения рассчитанных значений частоты вращения по времени по следующей формуле

$$\varepsilon = \left( \frac{n_i - n_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \right) \pi .$$

Полученные значения сравниваются логической схемой «И» с заданными с помощью программатора значениями и в случае их совпадения подается сигнал на блок управления, который также с помощью коммутатора, широтно-импульсного модулятора, усилителя мощности сигнала и исполнительного устройства регулятора подачи топлива обеспечивает увеличение или же уменьшение на определённую величину подачи топлива путем изменения положения органа управления топливоподачей по сравнению с требуемым на основании информации от схемы сравнения уровнем. Таким образом реализуется оперативное воздействие на орган управления топливоподачей с учетом скорости изменения регулируемого параметра.

Кроме того, для изучения неустановившихся режимов работы энергетических установок наиболее перспективным направлением при исследовании законов изменения нагрузки, разработке технических средств контроля регуляторов и конструировании элементов САРЧ следует признать методы вейвлет-анализа, Вейвлет-преобразования, использующие функции, локализованные как в реальном, так и в Фурье-пространстве, позволяют одновременно извлекать и анализировать временные и спектральные характеристики процессов, характеризующих совместное движение ДВС, регулятора и валопроводов судовой энергетической установки [7, 8].

Предлагаемые пути совершенствования систем автоматического регулирования частоты вращения позволяют улучшить эксплуатационные показатели энергетических установок путем обеспечения своевременного реагирования на изменение внешней нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Васильев, М.В. Устройство управления судовым двигателем внутреннего сгорания / М.В. Васильев // - Вестн. Мурман. гос. техн. ун-в. -2008. -Т.11. -№3. -С. 471-474.

2 Добролюбов, И.П. Динамический метод диагностики автотракторных двигателей. Часть 1. Принципы построения диагностических моделей переходных процессов / И.П. Добролюбов, В.М. Лившиц. -Новосибирск: Сиб. отделение ВАСХНИЛ, 1981. -86 с.

3 Кочергин, В.И. Оценка технического состояния систем автоматического регулирования частоты вращения / В.И. Кочергин, А.С. Алехин // -Науч. пробл. транс. Сиб. и Дальн. Вост. -2014. -№1-2. -С. 286-289.

4 Кочергин, В.И. Контроль технического состояния систем автоматического регулирования / В.И. Кочергин, С.П. Глушков // -Вестн. Перм. национ. исслед. политех. ун-в.: Машиностроение, машиноведение. -2016. -Т.18. - №3. -С. 107-118.

5 Глушков, С.П. Влияние кинетики горения топлива на параметры неравномерности вращения судовых энергетических установок / С.П. Глушков, Д.Ю. Косенко, В.И. Кочергин, В.В. Красников // -Морские интеллектуальные технологии. -2017. -№2. -С. 35-41.

6 Сыромятников, В.Ф. Наладка автоматики судовых энергетических установок: справочник / В.Ф. Сыромятников. -Л.: Судостроение, 1989. -352 с.

7 Глушков, С.П. Вейвлет-функции Морлета в исследовании переменных составляющих крутящего момента двигателей внутреннего сгорания / С.П. Глушков, С.С. Глушков, В.И. Сигимов // -Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. -2016. - №2.-С. 45-51.

8 Глушков, С.П. Выбор вейвлет-образующей функции для анализа динамических характеристик сигнала двигателя внутреннего сгорания / С.П. Глушков, В.О. Жидких // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. -2017. -№1. -С. 51-56.

1 Vasil'ev M.V., Marine internal combustion engine control system [Ustroystvo upravleniya sudovym dvigatelem vnutrennego sgoraniya]. Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2008. Vol. 11. No. 3. pp. 471-474.

2 Dobrolyubov I.P., Livshits V.M., Dynamic method of diagnostics of automotive engines [Dinamicheskii metod diagnostiki avtotraktornykh dvigateley]. Novosibirsk: Sibirskoe otd. VASKhNIL Publ. 1981. 86 p.

3 Kochergin V.I., Alekhin A.S., Evaluation of technical condition of automatic RPM control systems [Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya chastoty vrashcheniya]. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2014. No. 1-2. pp. 286-289.

4 Kochergin V.I., Glushkov S.P., Automation systems health monitoring [Kontrol' tekhnicheskogo sostoyaniya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya]. Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. 2016. Vol. 18. No. 3. pp. 107-118.

5 Glushkov S.P., Kosenko D.Yu., Kochergin V.I., Krasnikov V.V., Influence of fuel combustion kinetics on the parameters of irregularity of rotational speed of ship power plants [Vliyaniye kinetiki goreniya topliva na parametry neravnomernosti vrashcheniya sudovykh energeticheskikh ustanovok]. Morskoye intellektual'nyye tekhnologii. 2017. No. 2. pp. 35-41.

6 Syromyatnikov V.F., Fixing the automatic controls of marine diesel engines [Naladka avtomatiki sudovykh energeticheskikh ustanovok]. Leningrad: Sudostroenie Publ. 1989. 352 p.

7 Glushkov S.P., Glushkov S.S., Sigimov V.I., Morlet wavelet functions in the study of the variable components of the torque of internal combustion engines [Veyvlet-funktsii Morleta v issledovanii peryemnykh sostavlyayushchikh krutyashchego momenta dvigateley vnutrennego sgoraniya]. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2016. No. 2. pp. 45-51.

8 Glushkov S.P., Zhidkikh V.O., The choice of the wavelet generating function for the analysis of the gauge signal dynamic characteristics of the of internal combustion engine [Vybor veyvlet-obrazuyushchey funktsii dlya analiza dinamicheskikh kharakteristik signala dvigatelya vnutrennego sgoraniya]. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2017. No. 1. pp. 51-56.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** автоматическое регулирование частоты вращения, степень нечувствительности, пропорционально-интегральный регулятор  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Кочергин Виктор Иванович, канд. техн. наук, доцент СГУПС  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, СГУПС

## АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И ЭФФЕКТИВНОСТИ САМОРЕГЕНИРИРУЮЩИХСЯ ФИЛЬТРОВ СУДОВЫХ СИСТЕМ ТОПЛИВО- И МАСЛОЧИСТКИ

ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет»

Р.Р. Симашов, В.В. Маницын, Д.К. Глазюк

**ANALYSIS OF DESIGNS AND EFFICIENCY OF SELF-REGENERATING FILTERS IN FUEL- AND OIL CLEANING SHIP SYSTEMS**  
The Far Eastern State Technical Fisheries University (Dalrybvtuz) 52b, Lugovaya St., Vladivostok, 690087, Russia

Rafail' R. Simashov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of Dalrybvtuz)

Vladimir V. Manican (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of Dalrybvtuz)

Dmitriy K. Glazyk (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of Dalrybvtuz)

**ABSTRACT:** Designs and principles of operation of the fuel and oil self-regenerating filters are presented. Ship fuel and oil cleaners show high performance which is reached by improvement of woven filtering grids, filter cartridges of rod type, integration of cleaners into the fuel and lubrication systems of diesels. Comparison of the systems of thin purification of motor oil in the diesel Vasa-32 and 8ДН35/52 equipped with self-regenerating and standard filters is considered.

**Keywords:** *regenerating filter, fuel and oil purification, resource-conserving oil consuming, motor oil, woven filtering grids, engine service life*

Приведены конструкции и описано функционирование топливных и масляных саморегенирирующихся фильтров. Показана высокая эффективность судовых топливно- и маслоочистителей, которая достигается совершенствованием тканых фильтровальных сеток, фильтрующих элементов стержневого типа, включения очистителей в топливную и смазочную системы дизелей. Рассмотрено сравнение систем тонкой очистки моторного масла в дизеле Vasa-32 и 8ДН 35/52, включающих саморегенирирующие и штатные фильтры.

Полная автоматизация СЭУ без применения в системах топливно- и маслоочистки фильтров с длительным сроком необслуживаемой работы не возможна. В настоящее время фильтрование наравне с центрифугированием остается основным методом очистки горюче-смазочных материалов от механических примесей на судах. При этом для обработки потоков 20-300 м<sup>3</sup>/ч фильтрованию альтернативы нет.

Развитие дизелестроения выдвигает новые требования к горюче-смазочным материалам (ГСМ) и системам их очистки. Углубление переработки нефти в свою очередь сопровождается ухудшением качества конечного продукта, а именно топлив и масел, что, несомненно, ухудшает технико-экономические и экологические показатели работы двигателя рассматриваемого в системе «дизель-эксплуатация-топливо-масло-очистка». Особенно важно функционирование последнего звена в условиях форсировки дизеля по наддуву и частоте вращения, использования в подшипниках тонкостенных вкладышей, снижения маслообмена за счёт уменьшения угара масла с одновременным увеличением срока его службы, а также применения низкосортных топлив и масел с недостаточно высокими функциональными свойствами [1, 2].

Эти обстоятельства подталкивают к поиску более рациональных способов использования ГСМ с сохранением их высоких функциональных свойств. Одним из решений этого вопроса стало комплексное повышение эффективности тонкой очистки моторного масла (ММ) в судовых двигателях внутреннего сгорания (СДВС), предусматривающее создание саморегенирирующихся фильтров (СРФ), в которых регенерация фильтрующих элементов (ФЭ) осуществляется обратным потоком фильтруемой жидкости в автоматическом режиме.

При издании СРФ реализованы следующие принципы конструирования и повышения эффективности очистителей ММ [3, 4]:

– учет взаимосвязи процессов фильтрования и регенерации при обосновании алгоритма промывки и типа регенирирующего устройства, разработке фильтровального материала, ФЭ и в целом СРФ с высокими регенирируемостью и очистительной способностью;

– максимальное ослабление грязевой нагрузки на ФЭ СРФ от действия мелкодисперсных загрязнений и наибольшее увеличение ее при отсеивании крупнодисперсных примесей избирательным фильтрованием образованием осадка на поверхности материала, комбинированной очисткой ММ, выбором рационального соотношения размеров пор и частиц дисперсной фазы, гидродинамическими режимами фильтрования и регенерации;

– применение непрерывного режима работы регенирирующего устройства при фильтровании ГСМ с крупнодисперсным загрязнителем, периодического – с мелкодисперсным;

– использование в качестве промывной жидкости фильтруемого масла и комбинированное воздействие на отложения для их эффективного удаления.

Совершенствованию СРФ осуществлялось по схеме: повышение эффективности фильтровального материала, ФЭ, регенерирующего устройства, корпуса фильтра и маслоочистительного комплекса в целом. В качестве фильтровального материала принято использовать сетку полотняного переплетения оптимизированной структуры [5].

Разработка СРФ с высокими эффективностью очистки и регенерируемостью потребовала создание прочных фильтровальных материалов (ФМ) нового поколения – тканых металлических сеток (ТФС) полотняного переплетения оптимизированной структуры [6, 7]. Высокие функциональные свойства ФМ достигались расположением проволок утка вплотную и регулированием (оптимизацией) геометрии сеток выбором наиболее рациональных диаметров проволок утка и основы, шага основы. Моделирование фильтровальных сеток ТФС позволило выделить показатели геометрии и структуры, определяющие их эксплуатационные свойства. От формы внутренних поровых каналов сеток зависит их пропускная способность, регенерируемость и грязеемкость. Результаты моделирования позволили сформулировать принципы повышения задерживающей способности, гидравлических свойств, регенерируемости и грязеемкости сеток полотняного переплетения [6].

Представляет интерес сравнение ТФС различных классов, значительно различающихся по конструктивному исполнению. Рассмотрены проволочные тканые ФМ саржевого и полотняного переплетения с толщиной отсева 20-50 мкм. Сетки полотняного переплетения представлены структурой с внутренним и наружным задерживающими участками, выполненными по ГОСТ 3187-76 и в соответствии с разработками [6, 7]. Испытанию подвергались также лучшие ТФС зарубежного производства соответствующих классов. В качестве базы сравнения взята сетка с квадратными ячейками (ФСКЯ), изготовленная по требованиям ГОСТ 6613-86 и 3584-79. Сравнение рассматриваемых ТФС по гидравлическим и прочностным свойствам, грязеемкости, регенерируемости и стоимости осуществлено по частным и обобщенному показателям при допущении равнозначности каждого из них характеристики (%) проволочных ФС приведены в таблице 1.

*Таблица 1 – Сравнение эффективности тканых ФМ*

Показатель	ФС саржевого переплетения	ФС, ГОСТ 3187-76	ФС оптимизированной структуры	ФСКЯ, ГОСТ 3584-79
Прочность	100	68	81	20
Пропускная способность	34	65	85	100
Грязеемкость	29	48	100	76
Регенерируемость	48	83	100	98
Стоимость	68	100	78	57
Обобщенный показатель	63	82	100	79

При анализе выявлено, что по обобщенному показателю предложенные оптимизированные ТФС имеют неоспоримые преимущества: у них самая высокая грязеемкость и регенерируемость, умеренная стоимость, высокая пропускная способность и прочность. Сетки этого класса несколько уступают ФСКЯ по пропускной способности, но значительно превосходят их по прочности, которая у ТФС к тому же регулируется. ФМ этого класса универсальны: могут эффективно использоваться как в СРФ, так и в очистителях с немеханизированным удалением осадка, допускают фильтрацию и промывку обратным потоком при скорости фильтрации в 10-40 раз более высокой, чем у ФСКЯ.

Наиболее перспективной конструкцией ФЭ для СРФ оказался элемент высокой жесткости в форме свечи. Достигалось это применением стержней из легированной стали, заваренных в бобышки, стянутых проволокой в форме пружины с приваркой витков. Коэффициент живого сечения такого опорного каркаса составлял 0,7-0,8, причем шаг повивки проволоки для улучшения гидродинамики и полного использования ФЭ по высоте был переименован (А.С. 1084045). На опорный каркас с натягом надевался фильтровальный мешок из ТФС и закреплялся специальными обжимными кольцами.

В результате проведенных исследований предложены для использования на судах две базовые модификации СРФ для легких [3] и тяжелых [4] условий работы. Конструкция СРФ базируется на унифицированных модулях [3], что позволяет компоновать типоразмерные ряды маслоочистителей в широком диапазоне пропускной способности. Унификации подде-

жали ФЭ, распределительные устройства, фильтровальные камеры, гидравлический привод. Модули соединяются так, что обеспечивается параллельная их работа.

Маслоочиститель СРФ-60 работает в режиме непрерывной регенерации ФЭ [3]. Оригинальность конструкции состоит в отсутствии автоматики для управления работой этого фильтра, использовании для промывки ФЭ фильтруемого масла. Формирование промывочного потока осуществляется за счет давления масла в смазочной системе. Привод распределительного устройства у очистителей этого типа гидравлический, осуществляется он с использованием рабочего давления очищаемой жидкости. Специфика привода заключается не в равномерном вращении распределителя, а в прерывистом. Привод быстро переводит распределитель от одной фильтровальной камеры к другой с задержкой на регенерацию располагаемых в ней ФЭ.

Конструкция СОФД-120 [4] предназначена для тяжелых условий работы, когда адгезия отложений к ФМ высока. Работает в режиме периодической регенерации ФЭ по мере повышения перепада давлений от 0,02 до 0,1 МПа. Имеет электро-пневматическую систему управления. Число фильтровальных секций от 4 до 8. В каждый размещается 18-20 ФЭ. Скорость промывного потока превышает скорость фильтрации в режиме очистки в 20-60 раз. Обратный поток для промывки создается рабочим давлением воздуха 0,5-0,8 МПа от внешнего источника.

Фильтр револьверного типа, с центрально расположенным золотником (распределителем) и клапаном сброса грязной промывной жидкости в фильтр-грязесборник, где она очищается и возвращается на повторное использование. Все фильтрованные камеры находятся в работе (режиме фильтрования). По мере загрязнения они поочередно регенерируются. Периодичность включения на регенерацию зависит от уровня загрязнения и моюще-диспергирующих свойств фильтруемой среды. Обычно это происходит через 0,5-15 ч. Повышение эффективности регенерации фильтра СОФД-120 достигнуто не только увеличением скорости промывного потока, но и применением трехступенчатой непрерывной промывки ФЭ фильтруемой жидкостью, водожидкостной эмульсией, воздухом и использованием адаптивного режима регенерации.

Режим регенерации на одной из конструкций комбинированный, включает промывку ФЭ рабочей жидкостью, газо-масляной эмульсией и воздухом [4]. Комбинированный маслоочистительный модуль включает СРФ и фильтр-грязесборник для очистки промывного масла. Оно может также очищаться сепаратором, центрифугой с различными схемами подключения их к СРФ и смазочной системе дизеля [1].

В таблице 2 приведены результаты испытаний фильтров СРФ-60 на двигателе Vasa-32 [1] и типа СОФД-120 на двигателе 8ДН35/62. Их показатели сравниваются с эффективностью агрегатов штатных систем очистки (ШСО). Основываясь на этих данных можно сделать вывод не только о преимуществах саморегенерирующихся фильтров по сравнению с очистителями других конструкций, но и сопоставить их между собой и сделать вывод о преимуществах и недостатках каждого из них.

*Таблица 2 – Эффективность работы фильтров СРФ и СОФД*

Показатель	Дизель Vasa-32		Дизель 8ДН35/62	
	СРФ-60	ШСО	СОФД-120	ШСО
<i>Состояние масла к 2000 ч работы</i>				
Концентрация НРП, %:				
– общих	1,4	2,6	1,2	2,4
– зольных	0,28	0,65	0,27	0,45
Щелочность, мг КОН/г	12,7	8,9	6,1	3,6
Степень окисления, %	8,5	12,6	9,8	10,2
Содержание смол, %	6,1	7,2	5,1	6,8
Интенсивность очистки ММ от НРП, г/ч:				
– общих	3270	290	5890	1230
– зольных	1830	170	1610	245
<i>Состояние дизеля</i>				
Скорость изнашивания деталей ДВС:				
– комплект поршневых колец, г/1000 ч	5,6	9,2	12,8	18,3
– цилиндровая втулка, мкм/1000 ч	23	37	10,1	15,4
Нагаро- и лакообразование (общая оценка), балл	15,4	26,8	14,2	20,2



В качестве штатных в дизеле Vasa-32 используется для очистки полного потока масла полнопоточный фильтр тонкой очистки с бумажными фильтрующими элементами Н-120 (с номинальной толщиной отсева 45 мкм), а в дизеле 8ДН35/62 – фильтр грубой очистки с номинальной толщиной отсева 90 мкм.

Сравнение СРФ с ШСО, установленными в рассматриваемых дизелях, показало значительное превосходство новых саморегенерирующихся маслоочистителей со сменными ФЭ поверхностного типа (дизель Vasa-32) над сетчатыми фильтрами грубой очистки (дизель 8ДН35/62). При применении СРФ по сравнению с фильтрами ШСО состояние ММ по многим показателям старения 1,3-2 раза лучше. Изнашивание дизелей уменьшается в среднем на 45%, а нагаро- и лакообразование в 1,6 раза.

В системах топливоподготовки работа СРФ наиболее эффективна при дополнительной обработке топлива – его гомогенизации. В этом случае разрушаются конгломераты механических примесей, связываемых асфальто-смолистыми отложениями. Благоприятно гомогенизация сказывается на фильтруемости парафиносодержащих продуктов. Вода при фильтровании не удаляется. Потери горючей части нефтепродуктов при их совместной гомогенизации и фильтровании в сравнении с сепарированием уменьшается в 6-8 раз. Надежность работы фильтровальной установки при этом возрастает значительно.

Повышение эффективности СРФ предложено осуществлять на основе моделирования процесса промывки ФЭ фильтруемой жидкостью [5]. Были исследованы основные факторы, влияющие на данный процесс и предложены методы управления регенерацией. Интенсификации автоматической промывки ФЭ от отложений рекомендовано достигать:

- турбулизацией промывного потока, повышением его скорости генерацией пульсаций (гидроударов);
- промывкой ФЭ двухфазным потоком с обеспечением пробкового режима течения газожидкостной смеси;
- введением в промывной поток комплексов, мономолекулярных соединений, твердой фазы с особыми свойствами;
- применением для промывки ФЭ магнитных жидкостей на углеводородной основе.

Дальнейшее совершенствование автоматизированной тонкой очистки топлива и масла на судах обусловлена необходимостью поддержания на высоком уровне надёжности и экономичности дизелей при конвертировании их на топливо глубокой переработки нефти и альтернативные. Рост форсировки СДВС, сжигание в них низкосортных топлив, сокращение угара масла интенсифицирует загрязнение и старение ММ, увеличивает нагрузку на систему топливо- и маслоочистки и ужесточает требования к очистителям ГСМ. Повышение эффективности топливо- и маслоподготовки является самым результативным методом обеспечения экономичной ресурсосохраняющей эксплуатации СДВС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 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.

2 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.

3 Кича, Г.П. Новые инженерные решения в конструкциях саморегенерирующихся фильтров для очистки топлив и смазочных материалов на судах / Г.П. Кича, Н.К. Пак // -Морские интеллектуальные технологии. -2013. -№1-1. -С. 56-61.

4 Кича, Г.П. Саморегенерирующийся фильтр новой конструкции для очистки топлив и смазочных масел на судах / Г.П. Кича, А.В. Надежкин, Н.К. Пак // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2013. -№1. -С. 203-207.

5 Кича, Г.П. Экспериментальное моделирование эффективности процесса регенерации самоочищающихся фильтров, функционирующих в системах смазки судовых дизелей / Г.П. Кича, С.П. Бойко // -Морские интеллектуальные технологии. -2015. -№3 (29). -Т.1. -С. 93-99.

6 Бойко, С.П. Инженерные методы расчета эффективности тканых фильтровальных материалов при очистке топлив и масел на судах / С.П. Бойко,

REFERENCES

1 Kicha G.P., Perminov B.N., Nadezhkin A.V., Resource-conserving oil consuming in marine diesels [*Resursosberegayushchee masloispol'zovanie v sudovykh dizelyakh*]. Vladivostok: Maritime St. Univ. Publ. 2011. 372 p.

2 Kicha G.P., Tarashchan N.N., Nadezhkin A.V., Improvement of fine oil purification in marine trunk-type diesels via new combined filtering systems [*Povyshenie effektivnosti tonkoy ochistki motornogo masla v sudovykh tronkovykh dizelyakh kombinirovannym fil'trovaniem*]. Vladivostok: Maritime St. Univ. Publ. 2015. 174 p.

3 Kicha G.P., Pak N.K., New engineering approaches in design of self-regenerating filters for oil and fuel purification on ships [*Novye inzhenernye resheniya v konstruktsiyakh samoregeneriruyushchikhsya fil'trov dlya ochistki topliv i smazochnykh materialov na sudakh*]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. 2013. No. 1-1. pp. 56-61.

4 Kicha G.P., Nadezhkin A.V., Pak N.K., Self-regenerating filter of new design for oil and fuel purification on ships [*Samoregeneriruyushchisya fil'tr novoy konstruktsii dlya ochistki topliv i smazochnykh masel na sudakh*]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2013. No. 1. pp. 203-207.

5 Kicha G.P., Boyko S.P., Experimental simulation of effective value of regenerative process in self-cleaning filters operating in lubrication systems of marine diesel engines [*Eksperimental'noe modelirovanie effektivnosti protsessa regeneratsii samoochishchayushchikhsya fil'trov, funktsioniruyushchikh v sistemakh smazki sudovykh dizeley*]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. 2015. No. 3 (29), Vol. 1. pp. 93-99.

6 Boyko S.P., Kicha G.P., Engineering methods for calculating the effectiveness of woven filter materials for purification of fuel and oil on ships [*Inzhenernye metody rascheta effektivnosti tkanykh fil'troval'nykh materialov*

Г.П. Кича // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. - 2015. -№4. -С. 146-151.  
 7 Кича, Г.П. Новые тканые материалы для саморегенерирующихся фильтров систем топливо- и маслоочистки судовых энергетических установок / Г.П. Кича, Г.Г. Галстян, В.В. Тарасов // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2009. -№2. -С. 209-213.  
 8 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.

pri ochildke topliv i masel na sudakh]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2015. No. 4. pp. 146-151.  
 7 Kicha G.P., Galstyan G.G., Tarasov V.V., New woven materials for self-regenerating filters for ship power plants' fuel and oil purification systems [Novye tkanye materialy dlya samoregeneriruyushchikhsya fil'trov sistem toplivo- i masloochistki sudovykh energeticheskikh ustanovok]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2009. No. 2. pp. 209-213.  
 8 Kicha G.P., Lipin G.M., Polorotov S.P. Tribotechnical characteristics of insoluble oil contaminants and their effect on engine wear [Tribotekhnicheskie kharakteristiki nerastvorimykh produktov zagryazneniya motornykh masel i ikh vliyanie na iznos dvigatelya]. *Trenie i iznos*. 1986. Vol. 7. No. 6. pp. 1068-1078.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *регенерирующийся фильтр, очистка топлива и масла, ресурсосберегающее маслоиспользование, моторное масло, тканые фильтровальные сетки, ресурс двигателя*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Симахов Рафаиль Равильевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз»*  
*Маницын Владимир Викторович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз»*  
*Глазюк Дмитрий Константинович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *690087, г.Владивосток, ул.Луговая, 52Б, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз»*

## **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И СОСТАВА КОМПЛЕКСА «ДИЗЕЛЬ-ЭКСПЛУАТАЦИЯ-ТОПЛИВО-МАСЛО-ОЧИСТКА» НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАСЛООЧИСТИТЕЛЕЙ**

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»

**М.В. Грибиниченко, Е.И. Кончаков, А.Н. Минаев**

### **INFLUENCE OF MODES OF OPERATION AND STRUCTURE OF THE COMPLEX «THE DIESEL-OPERATION-FUEL-OIL-CLEANING» ON PERFORMANCE EFFECIENCY OF OIL CLEANERS**

Far Eastern Federal University (FEFU) 8, Sukhanova St., Vladivostok, 690090, Russia  
**Matvey V. Grebinichenko** (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of FEFU)  
**Evgeniy I. Konchakov** (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of FEFU)  
**Aleksandr N. Minaev** (Ph.D. of Engineering Sciences, Prof. of FEFU)

**ABSTRACT:** Authors explore an Influence of a boosting, operation conditions, fuel and lubricants quality on choosing the combination of oil cleaners in the engine lubrication system. Efficiency of motor oil cleaning is compared between combined standard full-flow and partial flow filtration and with combination of full-flow filter together with the centrifugal-type bypass filter using a rotating cylinder to rapidly circulate the oil.

**Keywords:** *resource-conserving oil consuming, motor oil, combined filtering, engine wear*

Рассмотрено влияние форсировки, режимов работы дизеля, качества применяемых топлив и смазочных материалов на выбор комбинированного маслоочистителя в системе смазки ДВС. Сравняется эффективность очистки моторного масла комбинированным полно- и частичнопоточным фильтрованием и сочетанием полнопоточного фильтра с байпасно подключенной имеющей гидравлический реактивный привод центрифугой.

Роль очистки моторного масла (ММ) в ресурсосберегающей эксплуатации судовых дизелей довольно высока. Исключение этого фактора может привести к большим экономическим потерям. В настоящее время повышению эффективности маслоочистки уделяется огромное значение. При проектировании систем очистки масла конструктор должен учитывать перспективы развития очистительной техники с тем, чтобы выбрать такую схему и типы маслоочистителей (МО), найти такие компоновочные и конструкторские решения, которые обеспечили бы высокий уровень системы очистки масла в дизелях разной форсировки.

Альтернативным решением, которое позволило бы сочетать достоинства очистки ММ по частично- и полнопоточным схемам, является применение комбинированных маслоочистительных комплексов. Принципы комбинированной очистки смазочного масла и методы повышения их эффективности при сочетании полнопоточного фильтрования и частично- и полнопоточного центрифугирования рассмотрены в работах [1, 2].

В этих исследованиях показана рациональность оптимального перераспределения грязевой нагрузки между фильтром и центрифугой. Важно облегчить работу полнопоточного фильтра (ППФ), 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 перепускового (предохранительного) клапана. Этим мероприятием не только повышается надежность защиты пар трения дизеля от попадания опасных крупных частиц загрязнений, но и увели-

чивается срок службы ФЭ и период необслуживаемой работы полнопоточного фильтра.

Мониторинг эффективности маслоочистителей в системах смазки (СС) судовых тронковых дизелей показал рациональность использования для обеспечения ресурсосберегающей эксплуатации двигателей комбинированных схем. Эксплуатационными испытаниями доказано, что наибольший технико-экономический эффект достигается сочетанием полнопоточного фильтрования ММ в ДВС с его глубокой очисткой по байпасной схеме центрифугой с гидравлическим реактивным приводом или частичнопоточным фильтром (ЧПФ), основанного элементами поверхностного типа [1]. На полнопоточный фильтр в этом случае возлагается задача надежно защитить пары трения (подшипники) двигателя от поступления крупных абразивных опасных механических примесей. Частичнопоточным фильтрованием или центрифугированием масла облегчается функционирование ППФ, так как эти ЧПФ и центрифуга берут на себя основную грязевую нагрузку по удалению из работающего масла нерастворимых продуктов (НРП).

Выбор типа и параметров МО в значительной мере зависит от состава и режимов работы комплекса «дизель-эксплуатация-топливо-масло-очистка» (ДЭТМО). Это обусловлено тем, что на эффективность фильтрования и центрифугирования (при гидравлическом реактивном приводе) ММ по разному зависит от зольности применяемых топлив и масел, моюще-диспергирующих и стабилизирующих, а также вязкостных свойств последнего. Форсировка, режимы работы двигателя, рабочее давление в системе смазки в значительной мере влияют на функциональные характеристики рассматриваемых МО. Поэтому выбор и оптимальное сочетание МО в комбинированной системе тонкой очистки масла (КСТОМ) существенным образом зависит от параметров звеньев комплекса ДЭТМО.

Анализ публикаций по КСТОМ показывает, что комбинированные системы очистки, сочетающие достоинства полнопоточного фильтрования и частичнопоточного центрифугирования, наиболее результативны при использовании в дизелях ММ с зольными присадками. Это обусловлено тем, что центробежный очиститель (ЦО) хорошо удаляют из-за их повышенной плотности продукты срабатывания зольных присадок, являющихся катализаторами окисления масел. Интенсивное отфуговывание ЦО этих загрязнений способствует не только увеличению срока службы масла, но и снижает изнашивание основных деталей ДВС, особенно поршневых колец. Последнее способствует стабилизации расхода масла на угар на низком уровне [1].

Следует отметить и то, что КСТОМ, 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.

Центрифуга успешно справляется с задачей эффективного удаления из ММ загрязнений этого вида. Нагрузки на КСТОМ 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. Так как при малых значениях угара маслообмен занижен, то концентрация в масле как общих, так и зольных НРП возрастает, что приводит к функционированию ППФ и ЦО или ЧПФ в более тяжелых условиях [3].

Неэффективная работа комбинированных систем тонкой очистки масла, включающих полнопоточный фильтр и байпасно подключенную центрифугу, возможна при низких рабочих давлениях в системе смазки [1], 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.

Выше перечисленные условия эксплуатации может удовлетворить КСТОМ, в состав которого вместо ЦО будет включен частичнопоточный фильтр. Результативность такого подхода показана в работе [2]. Однако детальной проработки этой схемы очистки нет. Это обусловлено отсутствием товарной продукции специфического фильтровального назначения. Требования к ФЭ такого типа не оработаны. Отсутствуют принципы комплектования КСТОМ, в состав которых включены только фильтры. Опубликованные данные по эффек-

тивности таких систем касаются только фильтровальных материалов, формирование поровых структур которых осуществляется на известных подходах к требованиям материалов поверхностного типа, используемых в полнопоточных фильтрах тонкой очистки масла (ФТОМП) и полнопоточных ФЭ комбинированного типа [4, 5].

Обобщение результатов испытаний КСТОМ, установленных на судах разного назначения, в том числе со специфическими условиями работы, эксплуатация ДВС которых характеризуется большим числом пусков и продолжительными периодами функционирования на низких нагрузках (суда портофлота), показало необходимость разработки СТОН на основе только фильтрования. Центрифугирование ММ при низких давлениях в СС и пониженных температурах масла неэффективно. Дизели 6(8)ЧН18/22, 6ЧН25/34, 5АL25 (5ЧН25/30), 524ТS (5ЧН24/31), 6VD26/20А (6ЧН20/26), 6NVD36А (6ЧН24/36), 8NVD48А-2U, (8ЧН32/48), в которых испытывались ФТОМП и комбинированные СТОН, 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 СТОН. В ППФ использовали ФЭ поверхностного типа. В основном это были элементы «Нарва 6-4», Н15, Н20, ЭФМ 145/55.363 и ФЭ 193/120.173 [1].

КСТОМ содержал фильтры ФМП-2 – 2ФМП-6, работающие как по полнопоточной схеме очистки, так и комбинированной – с дополнительным байпасным включением очистителей (центрифуг) 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 [6].

Если в СС дизелей с благоприятными условиями работы ЦО переход от ФТОМП к КСТОМ 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 (таблица). 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%.

*Таблица – Эффективность СТОН с полнопоточными фильтрами и комбинированными комплексами*

Показатель	Дизели первой группы		Дизели второй группы	
	ФТОМП	КСТОМ	ФТОМП	КСТОМ
Состояние масла				
Концентрация НРП в масле, отработавшем 1000 ч, % масс.:				
– общих	1,8±0,6	1,2±0,4	2,1±0,7	1,5±0,4
– зольных	0,42±0,07	0,18±0,03	0,32±0,06	0,21±0,14
Степень окисления масла, %	7±3	5±2	6±3	4±2
Содержание смол, %	9±4	6±3	11±5	8±3
Щелочность масла, мг КОН/г	1,8±0,5	2,7±0,4	2,3±0,5	3,1±0,4
Эффективность очистителей				
Интенсивность очистки, отн. ед.:				
– от общих НРП	5±2	68±16	4±2	20±3
– от зольных НРП	6±3	72±21	5±3	21±4
Срок службы ФЭ, тыс. ч	0,7±0,3	1,6±0,5	1,1±0,4	1,3±0,5
Изнашивание деталей ДВС				
Комплект поршневых колец, г/1000 ч	21±6	12±3	18±5	15±4
Цилиндровая втулка, мкм/1000 ч	26±12	18±4	21±10	17±4
Вкладыши мотылевых подшипников, г/1000 ч	8±3	5±2	9±4	7±3
Нагаро- и лакообразование на поршнях, балл	19±7	13±4	24±8	20±5
Отложения в картере, балл	2,2±0,8	0	3,2±1,2	1,7±0,3

Для дизелей второй группы характерно как при применении ФТОМП, так и КСТОМ более высокое содержание смол и меньшая степень окисления масла. Кроме того, здесь срабатывание присадок проходило менее интенсивно, что видно по загрязнению и падению щелочности масла. За 1000 ч работы она падала при полнопоточной и комбинированной очистке масла соответственно в первой группе дизелей до 1,8 и 2,7, а во второй – 2,3 и 3,1 мг КОН/г.

Дополнительное центрифугирование ММ в дизелях второй группы не привело к значительному увеличению срока службы ФЭ полнопоточного фильтра. Этот показатель увеличился лишь на 20% – с 1,1 до 1,3 тыс. ч. В то время как в СС дизелей первой группы срок службы ФЭ возрос с 0,7 до 1,6 тыс. ч, то есть больше чем 2,2 раза.

Эффективная работа КСТОМ в дизелях первой группы привела к снижению изнашивания основных деталей двигателей по сравнению с использованием ФТОМП в 1,7-1,8 раза. Во второй группе эффект в снижении изнашивания дизелей проявился в меньшей степени – всего в 1,2-1,3 раза. Нагаро- и лакообразование на поршнях снизилось в первой группе дизелей в 1,5, а во второй – в 1,1 раза. При этом для второй группы дизелей характерно также более интенсивное отложение шлама в картере, от которого не спасает дополнительное центрифугирование масла. Такое явление объясняется более интенсивным смолообразованием масла в СС дизелей второй группы.

**Выводы:**

1 В заключение следует отметить, что до настоящего времени принципы комплектации КСТОМ, обеспечивающие наиболее полное использование достоинств и преимуществ полно- и частичнопоточных очистителей, не разработаны. Нет интегральных критериев, по которым можно было бы определить преимущество и отдать предпочтение использованию комбинированного фильтрования по сравнению с сочетанием фильтра и центрифуги. Сравнение их по отдельным показателям не дает ответа на вопрос, какая комбинация наиболее выгодна.

2 Сравнение эффективности различных фильтров показывает, что полнопоточное фильтрование более надежно защищает пары трения ДВС от попадания крупных и, следовательно, наиболее опасных НРП. Глубокую очистку масла от мелкодисперсных загрязнений рациональнее всего возложить на частичнопоточное фильтрование. Оно с этой задачей эффективно справляется, обеспечивая таким образом меньшую скорость старения масла из-за интенсивного удаления катализаторов окисления.

3 Доказана рациональность применения комбинированных фильтров в СС дизелей при повышенном загрязнении масла НРП, что может быть вызвано их высокой форсировкой наддувом, использованием низкосортных тяжелых топлив, в том числе топочных мазутов, длительной работой двигателей с перегрузкой и на переменных неустановившихся режимах с интенсивным поступлением в ММ продуктов неполного сгорания топлива. Использование КСТОМ на основе центрифугирования при работе на высокосолевых ММ особенно рационально в ДВС с низким угаром масла, когда маслообмен в системе смазки мал, что вызывает интенсивное срабатывание присадок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 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.  
 2 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.  
 3 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.  
 4 Кича, Г.П. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания / Г.П. Кича // -Химия и технология топлив и масел. -1985. -№2. -С. 28-30.  
 5 Кича, Г.П. Моделирование изнашивания судовых тронковых дизелей при использовании унифицированных моторных масел / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин, С.А. Завадский // -Трение и износ. -2004. -Т.25. -№6. -С. 635-641.

1 Kicha G.P., Perminov B.N., Nadezhkin A.V., Resource-conserving oil consuming in marine diesels [*Resursosberegayushchee masloispol'zovanie v sudovykh dizelyakh*]. Vladivostok: Maritime St. Univ. Publ. 2011. 372 p.  
 2 Kicha G.P., Tarashchan N.N., Nadezhkin A.V., Improvement of fine oil purification in marine trunk-type diesels via new combined filtering systems [*Povyshenie effektivnosti tonkoy ochistki motornogo masla v sudovykh tronkovykh dizelyakh kombinirovannym fil'trovaniem*]. Vladivostok: Maritime St. Univ. Publ. 2015. 174 p.  
 3 Kicha G.P., Lipin G.M., Polorotov S.P. Tribotechnical characteristics of insoluble oil contaminants and their effect on engine wear [*Tribotekhnicheskie kharakteristiki nerastvorimyykh produktov zagryazneniya motornykh masel i ikh vliyaniye na iznos dvigatelya*]. *Trenie i iznos*. 1986. Vol. 7. No. 6. pp. 1068-1078.  
 4 Kicha G.P., Oil purification in internal combustion engines [*Ochistka masla v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya*]. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel*. 1985. No. 2. pp. 28-30.  
 5 Kicha G.P., Perminov B.N., Nadezhkin A.V., Zavadskiy S.A., Modeling the wear of ship trunk diesels using universal motor oils [*Modelirovaniye iznashivaniya sudovykh tronkovykh dizeley pri ispol'zovanii unifitsirovannykh motornykh masel*]. *Trenie i iznos*. 2004. Vol. 25. No. 6. pp. 635-641.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ресурсосберегающее маслоиспользование, моторное масло, комбинированное фильтрование, изнашивание двигателя  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Грибиченко Матвей Валерьевич, канд. техн. наук, доцент ФГАОУ ВО ДВФУ  
 Кончаков Евгений Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГАОУ ВО ДВФУ  
 Минаев Александр Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФГАОУ ВО ДВФУ  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8, ФГАОУ ВО ДВФУ

**РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ АТМОСЕРНОГО ВОЗДУХА**

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

Р.М. Борейко

**CALCULATION OF ENERGY EFFICIENCY OF CCGT UNIT AT SUBZERO TEMPERATURES**  
 Saint-Petersburg Mining University (SPMU) Line 2, Vasilievsky Island 21, Saint-Petersburg, 199106, Russia  
 Roman M. Boreyko (Graduate student of SPMU)

**ABSTRACT:** This paper presents the results of calculations giving an estimate of how ambient temperature affects to output power of CCGT plants. Authors underline the importance of working fluid parameter stabilization at the input of gas turbine.

**Keywords:** gas turbine power plant, steam turbine power plant, combined cycle gas turbine power plant, energy efficiency

Приведены результаты расчетов, дающие оценку влияния температуры наружного воздуха на выходную мощность парогазовых установок. В работе показана важность стабилизации параметров рабочего тела на входе в газовую турбину.

Комбинированный цикл и нюансы и обстоятельства эксплуатации парогазовых установок широко освещены в научно-технической литературе, поэтому в статье представлена краткая необходимая информация, касающаяся вопроса энергетической эффективности ПГУ в холодное время года.

Основными элементами тепловой схемы современных парогазовых установок (ПГУ) утилизационного типа являются газотурбинная установка, котел-утилизатор и паротурбинная установка, а термодинамический цикл Брайтона-Ренкина (рисунок 1) описывает происходящие в них основные рабочие процессы. На верхней ступени комбинированного цикла Брайтона-Ренкина (процессы 1-2-3-4-5-1) находится высокотемпературный цикл Брайтона (газотурбинная установка), а на нижней ступени комбинированного цикла (процессы a-b-c-d-e-f-a) находится низкотемпературный цикл Ренкина (паротурбинная установка).

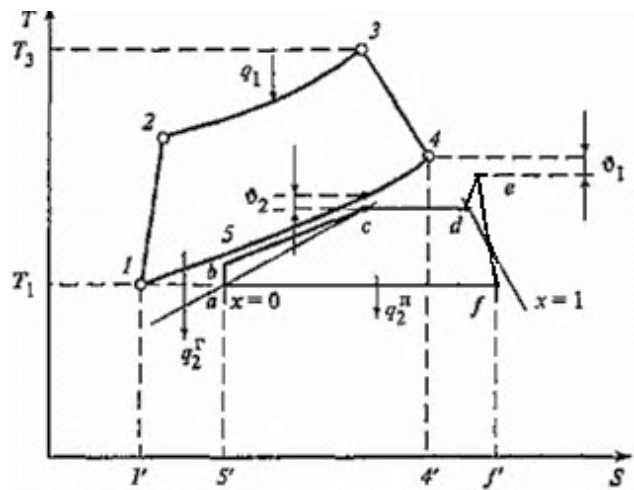


Рисунок 1 – Цикл Брайтона-Ренкина в Ts-диаграмме

Атмосферный воздух – основная составляющая рабочего тела газовой турбины (более 98%) [1, 2], оказывает существенное влияние на объем вырабатываемой электроэнергии ПГУ, вне зависимости от конструктивных особенностей оборудования и способа сжигания топлива. Сжимаемый в газотурбинном компрессоре воздух с более низкой температурой обладает большей плотностью, обуславливая снижение затрат вырабатываемой мощности газовой турбины на работу сжатия в газотурбинном компрессоре [1-4]. При этом в реальных условиях эксплуатации с неизменным расходом топлива увеличивается выходная электрическая мощность и коэффициент полезного действия газотурбинной установки. Термогазодинамический расчет газотурбинной установки V64.3A «SIEMENS» (в составе ПГУ-180) определяет зависимость потребляемой и вырабатываемой мощности элементов газотурбинной установки (газотурбинного компрессора и газовой турбины, соответственно) от температуры атмосферного воздуха (рисунок 2).

Как видно, мощность, а следовательно энергетическая эффективность как ГТУ так и ПГУ при отрицательных значениях температуры атмосферного воздуха возрастает. Но стоит отметить, что рост экономичности ПГУ при снижении температуры атмосферного воздуха

ограничивается работой антиобледенительной системы (АОС), которая обеспечивает отсутствие образования льда на элементах воздушного тракта и компрессора газотурбинной установки при наружных температурах от +5 °С и ниже вплоть до (-36) °С. Ограничивая мощность газотурбинной установки, как и любая система рециркуляции, АОС снижает энергоэффективность установки. Термогазодинамический расчет газотурбинной установки V64.3A «SIEMENS» (в составе ПГУ-180) показывает, что это снижение достигает 1%.

Ограничение роста экономичности ПГУ происходит по следующим причинам. Согласно циклу Брайтона-Ренкина (см. рисунок 1), количество теплоты с недостаточным потенциалом для ее последующего использования в высокотемпературном цикле далее направляется в котел-утилизатор для производства водяного пара – рабочего тела в низкотемпературном цикле. Но при этом работа АОС снижает величину располагаемого количества теплоты для использования в низкотемпературном цикле после ГТУ, используя ее часть для нагрева забираемого атмосферного воздуха перед газотурбинным компрессором, что сказывается на энергетической эффективности паротурбинной установки. При более низких температурах атмосферного воздуха АОС забирает большее количество уводящих газов на рециркуляцию, следовательно, подводимое количество теплоты в низкотемпературную часть комбинированных установок сокращается, снижая энергетическую эффективность всей установки в целом.

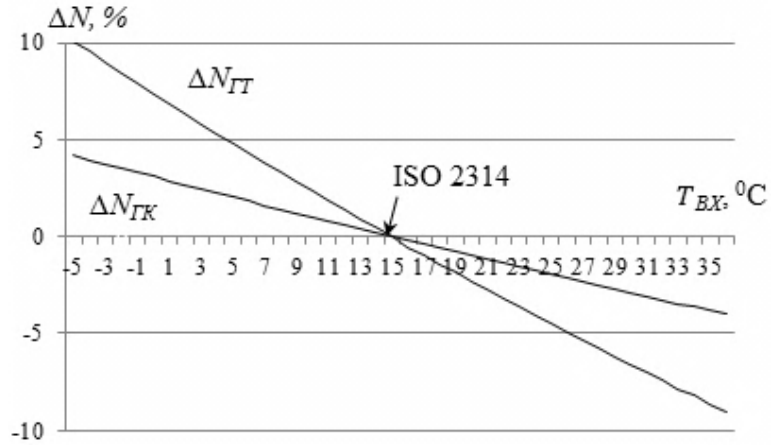


Рисунок 2 – Отклонение значений потребляемой мощности газотурбинного компрессора  $\Delta N_{ГК}$  и вырабатываемой мощности газовой турбины  $\Delta N_{ГТ}$  от номинальных значений

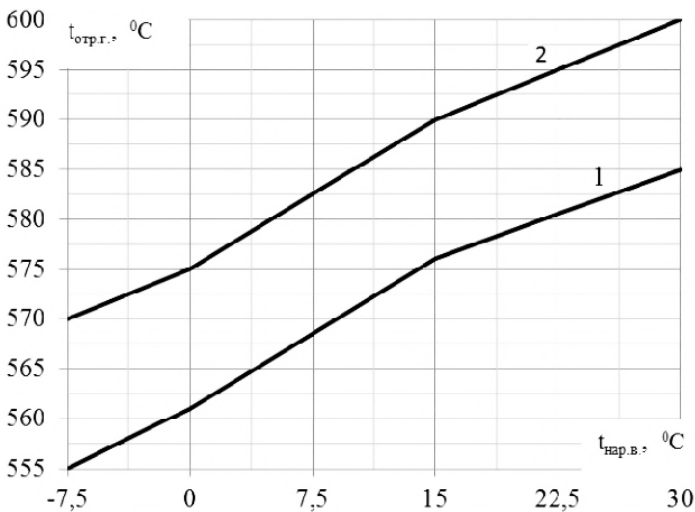


Рисунок 3 – Зависимость температуры отработанных газов от температуры атмосферного воздуха для ГТУ V64.3A «SIEMENS»: 1-для режима при температуре газов перед газовой турбиной 1170 °C; 2-для режима при температуре газов перед газовой турбиной 1200 °C

Из рисунка 1 видно, что площадь фигуры с вершинами abcdefa численно равна величине полезно используемой теплоты в низкотемпературном цикле. В свою очередь, при неизменном потреблении топлива газотурбинной установкой, уменьшение поступающего количества теплоты от высокотемпературного цикла в котел-утилизатор обуславливает протекание в нем процессов по условной линии расположенной ниже существующей ломаной линии процессов b-c-d-e. Согласно термогазодинамическому расчету, зависимость температуры отработанных газов от температуры атмосферного воздуха для газовой турбины V64.3A «SIEMENS» имеет вид, представленный на рисунке 3.

Таким образом, температура атмосферного воздуха оказывает влияние не только на объем вырабатываемой электроэнергии газотурбинной, но и паротурбинной установкой.

Для каждого парогазового блока величина потерь электрической мощности паротурбинной установки в связи с этим различна и колеблется незначительно. Очевидно, что данная особенность работы оборудования в комбинированном цикле предполагает наибольшее снижение объема вырабатываемой электрической энергии в холодный период. В основном это



происходит по причине того, что первые ступени паровой турбины работают при более низких параметрах рабочего тела относительно конструкционно возможных, что в основном происходит в холодный период. Кроме этого, снижается теплоперепад и в остальных ступенях паровой турбины, расположенных до промывода пара, а вместе с этим и объем вырабатываемой электрической мощности (рисунок 4).

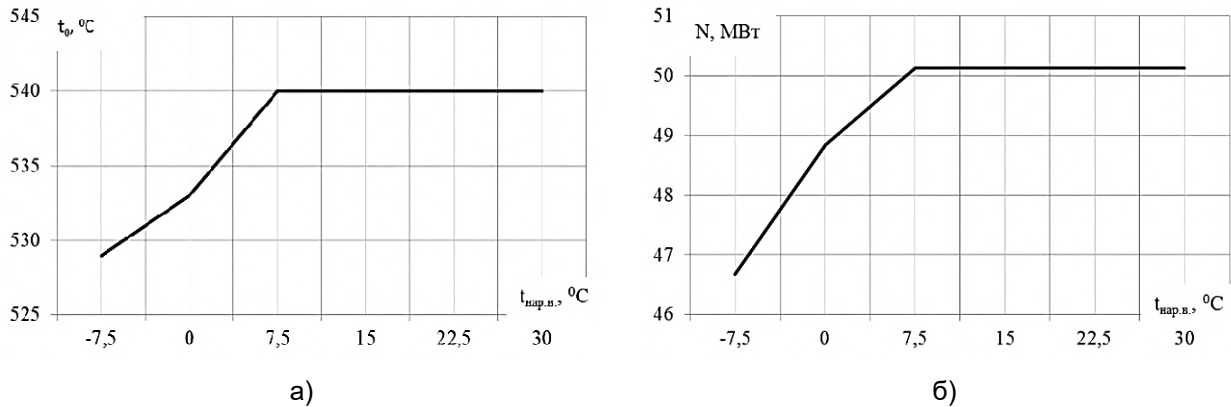


Рисунок 4 – Зависимость начальной температуры пара (а) и электрической мощности (б) турбины Т-50/64-7,4/0,12 производства ОАО «КТЗ» от температуры наружного воздуха, работающей в составе ПГУ-180

Несмотря на понимание проблематики влияния температуры атмосферного воздуха на энергетическую эффективность парогазовых установок [1-4], существующие в Российской Федерации энергоблоки ПГУ эксплуатируются со снижением мощности описанным выше. При этом первостепенное значение в вопросе влияния температуры атмосферного воздуха на энергетическую эффективность парогазовых установок отводится газотурбиной установке, а основные научные исследования находятся в области конструкционных материалов, в направлениях, связанных с улучшением критически важных свойств материалов [1, 4] (жаропрочность, жаростойкость и повышение предела прочности металла при растяжении). Основная цель этих исследований – увеличение начальных параметров рабочего тела в газотурбинных установках, то есть обеспечение протекания процессов в высокотемпературном цикле Брайтона-Ренкина по условной линии расположенной выше существующей 2-3 (см. рисунок 1). Однако это не единственный путь.

Расчетные зависимости показывают важность решения вопроса по стабилизации параметров рабочего газотурбинной установки в составе ПГУ с учетом влияния температуры атмосферного воздуха. Создание адаптивной модели ПГУ, упраздняющей влияние существующих схем работы АОС обеспечит прирост мощности парогазовой установки. Для каждой установки эти значения различны и колеблются в пределах 2,5%. На рассмотренном примере ПГУ-180 эта величина составляет 2%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Зысин, Л.В. Парогазовые и газотурбинные тепловые электростанции / Л.В. Зысин. -СПб.: Изд-во С. Петерб. гос. политехн. унив., 2010. -368 с.  
 2 Трухний, А.Д. Парогазовые установки электростанций: учебное пособие для вузов / А.Д. Трухний. - М.: Изд-во Моск. энергетич. инстит., 2013. -648 с.  
 3 Уваров, В.В. Газовые турбины и газотурбинные установки / В.В. Уваров. -М.: Высш. шк., 1970. -320 с.  
 4 Цанев, С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов. -М.: Изд-во Моск. энергетич. инстит., 2002. -584 с.

REFERENCES

1 Zysin L.V., CCGT and gas turbine thermal power stations [Parogazovye i gazoturbinnye teplovye elektrostantsii]. St. Petersburg st. polytechn. univ. Publ. 2010. 368 p.  
 2 Trukhniy A.D., CCGT plants of power stations [Parogazovye ustanovki elektrostantsiy]. Moscow: Moscow Power Engineering Inst. Publ. 2013. 648 p.  
 3 Uvarov V.V., Gas turbines and gas turbine plants [Gazovye turbiny i gazoturbinnye ustanovki]. Moscow: Vysshaya shkola Publ. 1970. 320 p.  
 4 Tsanev S.V., Burov V.D., Remezov A.N. Gas turbine and CCGT plants of thermal power stations [Gazoturbinnye i parogazovye ustanovki teplovykh elektrostantsiy]. Moscow: Moscow Power Engineering Inst. Publ. 2002. 584 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

газотурбинная установка, паротурбинная установка, парогазовая установка, энергетическая эффективность

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Борейко Роман Михайлович, аспирант СПГУ

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

199106, г.Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2, СПГУ

## ПОЛНОПОТОЧНАЯ ТОНКАЯ ОЧИСТКА МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ КОМБИНИРОВАНИЕМ ФИЛЬТРОВАНИЯ И ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

Г.П. Кича, Л.А. Семенюк

### FULL-FLOW FINE OIL PURIFICATION IN MARINE DIESEL ENGINES THROUGH THE USE OF COMBINING FILTRATION AND CENTRIFUGATION METHODS

Maritime State University named after admiral G.I.Nevelskoi (MSU named after adm. G.I.Nevelskoi) 50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia

Gennadiy P. Kicha (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

Lyudmila A. Semenyuk (Graduate student of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

**ABSTRACT:** The advantages and disadvantages of the motor oil purification in the internal combustion engines through filtration and centrifuging are investigated. The concepts of improving the efficiency of fine oil purification through the combining these methods are stated. Projects of mixed oil purification systems are presented where the advantages of every method are most adequately used. The article reports about motor tests' results in marine trunk-type boosted diesels with new combined systems of fine oil purification.

**Keywords:** marine diesel, resource-conserving oil consuming, motor oil, combined filtering, centrifugation, engine wear

Анализируются достоинства и недостатки очистки моторного масла в двигателях внутреннего сгорания фильтрованием и центрифугированием. Сформулированы принципы повышения эффективности тонкой очистки масла комбинированием этих методов. Приводятся схемы комбинированной очистки, в которых преимущества каждого из них используются наиболее полно. Сообщается о результатах моторных испытаний в судовых тронковых форсированных дизелях новых комбинированных систем тонкой очистки смазочного масла.

Прогноз развития маслоочистителей ДВС определил перспективу использования для этой цели фильтрования и центрифугирования как наиболее эффективных методов стабилизации физико-химических и моторных свойств масел с присадками и защиты двигателя от абразивного изнашивания. Рассматриваемым методам очистки нет альтернативы, и можно обоснованно утверждать, что для современных ДВС и тепловых двигателей будущего высокоэффективные фильтры и центрифуги останутся самыми действенными агрегатами в обеспечении экономичной ресурсосохраняющей эксплуатации дизелей [1].

Сравнение эффективности Э наиболее перспективных маслоочистителей – фильтра тонкой очистки масла, полнопоточного (ФТОМП) и центробежного с наружным гидравлическим приводом, полнопоточного (МЦН-П) – показывает преимущества фильтрования для защиты пар трения двигателей от крупных механических примесей и центрифугирования для «глубокой» очистки масла от онкодиспергированных нерастворимых продуктов, катализирующих его старение (рисунок 1).

Выявлено, что вероятность защиты  $N$  пар трения ДВС на номинальном температурном и скоростном режимах двигателя при применении фильтров и центрифуг почти одинакова, при пуске двигателя этот показатель  $N_{\text{п}}$  у МЦН-П в 20 раз ниже. Номинальная тонкость отсева  $\Delta_n$  центробежных очистителей в значительной мере зависит от температуры масла. Вязкость его на тонкость отсева  $\Delta$  фильтра влияет незначительно. У ФТОМП тонкость отсева выше (лучше) почти на всех температурных режимах смазки.

По интенсивности очистки  $Q_{\text{ф}}$  масла от нерастворимых в бензине (НРБ) примесей (ГОСТ 20684-75) центрифуги в среднем в 17 раз эффективнее фильтров. Глубина очистки масла МЦН-П в 1,6-2,8 раза выше, чем ФТОМП, что видно из сопоставления осредненных концентраций общих  $c_x$  и зольных  $c_{x_3}$  нерастворимых примесей в фильтруемом и центрифугируемом масле за период его службы (рисунок 1).

Интенсивность (скорость) старения ас центрифугируемого масла по большинству показателей (окислению, росту кислотности, срабатыванию присадок) на 20-40% ниже, чем фильтруемого. При этом между  $a_c$  и  $c_{x_3}$  наблюдается хорошая корреляция. Более интенсивное (в 1,2 раза) удаление  $a_{\text{ф}}$  центрифугами из масла несработавших, находящихся в активной форме, присадок на его состоянии не отразилось. количество задержанных маслоочистителями несработавших присадок составляет менее 5% их массы, поступающей при доливе свежего масла.

Срок службы фильтрующих элементов (ФЭ) в три-пять раз больше, чем продолжитель-

ность работы центрифуг до обслуживания. Чистка ротора МЦН-П более трудоемка, чем операция по замена ФЭ, поэтому трудоемкость обслуживания  $T_p$  фильтров в четыре раза ниже. Преимущество центрифуг заключается в том, что расход  $P_\phi$  ФЭ при их использовании отсутствует.

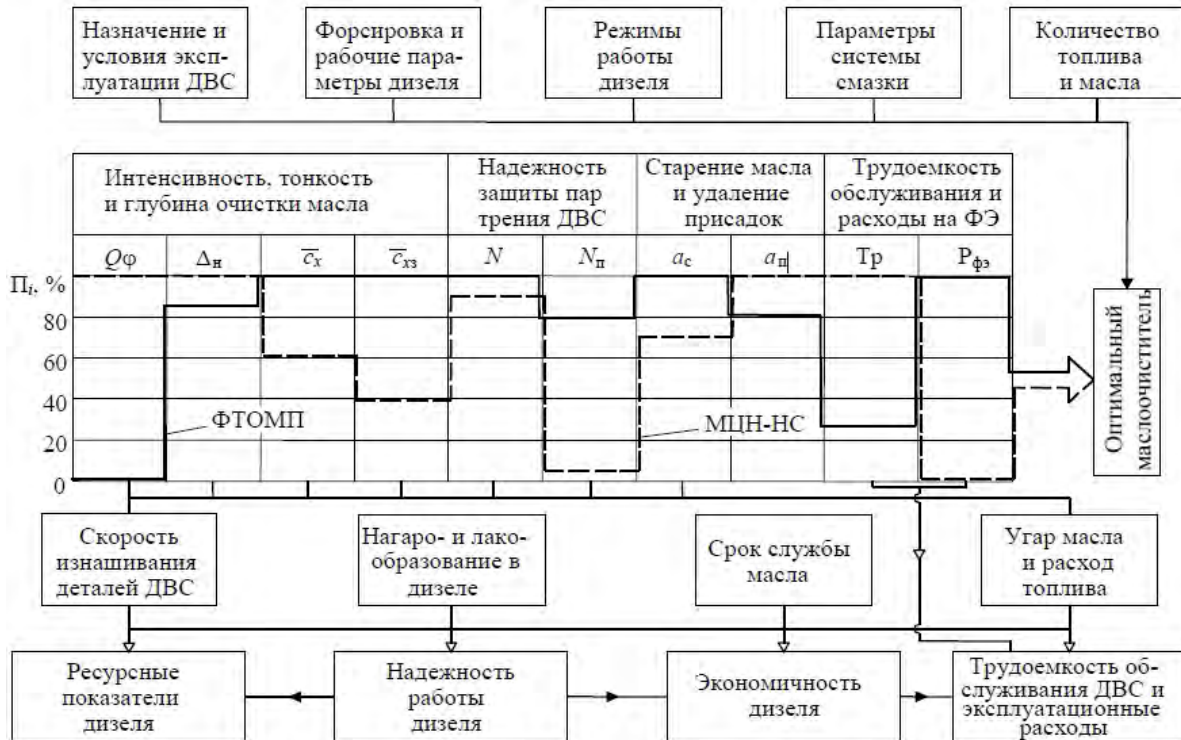


Рисунок 1 – Сравнение эффективности очистки ММ полнопоточным фильтрованием и центрифугированием

Выбор маслоочистителя зависит от многих факторов: назначения, форсирования, условий и режимов работы двигателя, качества масла и топлива (см. рисунок 1). Например, для двигателей с большим числом холодных пусков, работающих в условиях повышенной запыленности воздуха и поступления в масло большого числа крупных кварцевых частиц, роль фильтра в защите двигателя от абразивного изнашивания значительнее.

В судовом дизеле, имеющем устройства для предпускового подогрева масла и прокачки двигателя, применение полнопоточной центрифуги рационально. Такой очиститель обеспечивает не только минимальный износ его деталей, но и высокий срок службы масла. При этом потребность в ФЭ отпадает.

Из приведенных показателей эффективности маслоочистителей наибольшее влияние на скорость изнашивания деталей ДВС оказывают показатели  $\Delta$ ,  $Q_\phi$ ,  $c_{x3}$ ,  $N$  и  $N_n$ . Нагаро- и лакообразование в большой мере зависят от  $c_x$ ,  $x$  и  $a_c$ . Моторная эффективность маслоочистителей, проявляющаяся через износ и нагаро- и лакообразование, определяет надежность и ресурсные показатели ДВС (см. рисунок 1). Эти показатели влияют и на эксплуатационную экономичность двигателя. Угар и срок службы масла, а также расход топлива в значительной мере зависят от технического состояния двигателя, которое определяется взносом деталей ДВС и образованием на них нагара. Трудоемкость обслуживания системы смазки и эксплуатационные расходы зависят от показателей  $T_p$ ,  $P_\phi$ ,  $Q_\phi$ ,  $c_{x3}$ ,  $a_c$  и др.

Анализ характеристик ФТОМП и МЦН-П показывает, что приемлемый компромисс, между показателями их эффективности возможен лишь для некоторых типов двигателей. Для ФТОМП характерно противоречие между тонкостью отсева и сроком службы ФЭ, полнотой отсева и надежностью защиты пар трения двигателя от попадания крупных частиц механических примесей.

Интенсификация полноты отсева  $\phi$  при работе ФТОМП в частичнопоточном режиме не обеспечивает необходимую глубину очистки моторного масла. Применение этого очистителя в форсированном дизеле не способствует достижению большого срока службы масла.

Показатели эффективности ФТОМП в этом случае не удовлетворяют требованиям к маслоочистителям.

Как показывает проведенный анализ [1, 2], ужесточение требований к очистке ММ в дизелях обусловлено следующими причинами:

- созданием ДВС с большим сроком службы(ресурсом) и необходимостью экономичной ресурсосохраняющей их эксплуатации;
- уменьшением рабочих зазоров в парах трения ДВС и применением тонкостенных вкладышей подшипников;
- необходимостью сокращения расхода масла в дизелях и повышением абразивности продуктов его старения из-за сжигания низкосортных сернистых топлив;
- форсированием дизелей высоким наддувом и увеличением интенсивности старения в них ММ.

Полная реализация возросших требований к очистке ММ возможна при использовании в ДВС новых комбинированных систем тонкой очистки масла (КСТОМ) разработка которых осуществлена на основе следующих принципов:

- разграничения функций агрегатов очистки таким образом, чтобы наиболее полно использовались преимущества полнопоточного фильтрования для защиты пар трения двигателя от крупных абразивных частиц и центрифугирования для глубокой очистки масла от тонкодиспергированных, особенно зольных, нерастворимых примесей;
- последовательного включения агрегатов КМОК в систему смазки дизелей и оптимизации их параметров для полной реализации возможностей каждого из очистителей, что достигается уменьшением массы полнопоточно фильтруемого холодного масла за счет применения дроссельного распределителя, подачи на фильтр центрифугированного масла с увеличением его доли, поддержанием высокой интенсивности очистки масла центрифугированием на всех скоростных режимах работы дизеля путем автономной подачи его на очистку и раскрутку ротора и установки подпорного дросселя и переливного клапана.

Одна из схем включения агрегатов очистки в систему смазки ДВС с мокрым картером, в которой реализованы изложенные принципы, показана на рисунке 2. Главный и вспомогательный контуры очистки имеют гидравлическую связь через напорный золотник с обратным клапаном. В пары трения двигателя (маслораспределитель 13) масло подается основным масляным насосом 4 через полнопоточный фильтр 6, где масло очищается с тонкостью отсева 25-40 мкм. Дроссельный распределитель 3 за счет управляемого воздействия автоматически поддерживает постоянное давление масла перед потребителями при любой температуре масла в системе смазки без перепуска его мимо ФЭ через предохранительный клапан 5 фильтра.

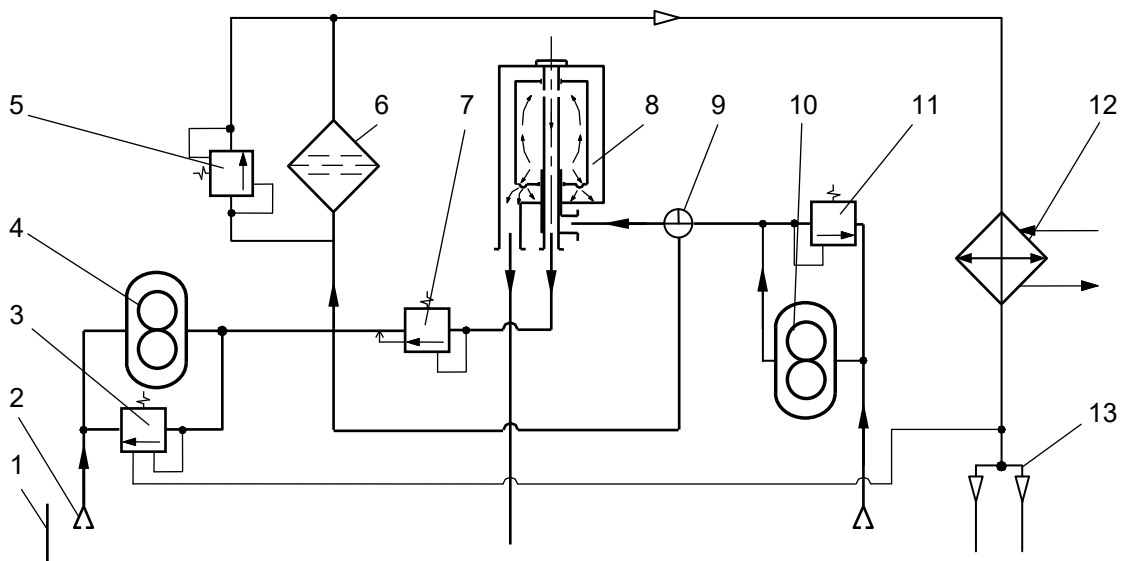


Рисунок 2 – Перспективная КСТОМ для судовых тронковых дизелей: 1-картер; 2-заборник; 3-редукционный управляемый клапан; 4-насос; 5-предохранительный клапан; 6-фильтр; 7-напорный золотник с обратным клапаном; 8-центрифуга с напорным сливом; 9-трехходовой кран; 10-вспомогательный насос; 11-перепускной клапан; 12-холодильник; 13-распределительная магистраль

Излишки масла подаются дроссельным распределителем 3 на всасывание основного насоса. Так как прокачка масла через дизель и, следовательно, через ФТОМП при заданной регулировке давления в системе смазки значительно зависит от его вязкости, то перепад давления на фильтре остается практически постоянным в широком интервале температуры масла. Возможности ФЭ при этом используются полностью, так как смена их осуществляется при срабатывании устройства, сигнализирующего об открытии предохранительного клапана фильтра, для большинства судовых дизелей на номинальном температурном режиме смазки при самой высокой прокачке масла через дизель.

Масло вспомогательным насосом 10 через центрифугу 8 с напорным сливом (полнопоточным) и золотник 7 подается в главный контур циркуляции. Напорный золотник отрегулирован так, чтобы поддерживать давление перед центрифугой 0,7-0,8 МПа, при котором эффективность МЦН-П наибольшая. При таком давлении перед соплами ротора фактор разделения центробежного маслоочистителя превышает 3000. Когда подача масла насосом 10 превышает пропускную способность центрифуги, его излишки через перепускной клапан 11 поступают на всасывание насоса. Для чистки ротора МЦН-П на работающем двигателе он отключается от системы смазки трехходовым краном 9. При этом из-за наличия обратного клапана в золотнике 7 масло в центробежный маслоочиститель от насосов 10 и 3 не поступает.

Подача на фильтр центрифугированного масла увеличивает продолжительность работы ФЭ без закупорки пор. Перераспределение «грязевой» нагрузки между центрифугой и фильтром с уменьшением доли удаления загрязнений ФТОМП способствует росту срока службы ФЭ.

Для комплектации систем смазки форсированных тронковых дизелей КМОК разработаны типоразмерные ряды фильтров ФМП-М и центрифуг МНЦ-П, способных с тонкостью отсева не выше 45 мкм фильтровать 10-120 м<sup>3</sup>/ч и с фактором разделения  $F_r > 3000$  центрифугировать 2,4-12,0 м<sup>3</sup>/ч масла. Центробежные маслоочистители с гидроприводом ротора полностью соответствуют ГОСТ 10556-78, имеют вместимость ротора 1060-8000 см<sup>3</sup>, индекс производительности их составляет 26-186 м<sup>2</sup>.

В качестве фильтрующих патронов в фильтрах ФМП-М применяются элементы ЭП-3, ЭП-6 и ЭП-8, полностью взаимозаменяемые с ФЭ типа «Нарва-6» (ЭФМ 145/383), «Восток-10» (ЭФМ 245/367) серийного производства и с элементами Н15111/2, Н20211 фирмы «Mann und Hummel», используемыми в судовых ДВС зарубежного производства [1].

Особенностью предложенных конструкций фильтров и центрифуг являются высокие пропускная и очистительная способности за счет низкого гидравлического сопротивления ФЭ, размещения регулирующих и контролирующих устройств в корпусах ФМП-М и МЦН-П, использования для ФЭ фильтрующих материалов типа БМ и ДРКБ с регулярной поровой структурой и дренажного подслоя [1, 2].

Некоторые модификации МЦН-П способны удалять из масла воду, причем часть из них выполнена самоочищающимися, с автоматическим удалением отложений из ротора в грязесборник, что позволяет повысить продолжительность необслуживаемой работы предлагаемых систем очистки масла до 3 тыс. ч.

Большой срок службы ФЭ достигнут перераспределением удаляемых агрегатами КСТОМ загрязнений таким образом, что доля МЦН-П превышает 80%. Получение для ФЭ «крутой» зависимости фракционного коэффициента отсева от размера частиц загрязнений также способствует росту  $T_{фэ}$  [2].

Улучшение скоростных характеристик центрифуг и, следовательно, повышение их  $F_r$  и  $Q_p$  достигнута путем применения «всплывающего ротора» и разделительных диафрагм для предотвращения торможения ротора из-за разбрызгивания масла [3].

Химмотология нового маслоочистительного комплекса оценивалась на моторных стендах и в эксплуатации на судах Дальневосточного бассейна. Испытания велись в соответствии с ОСТ 24.060.09-89 в дизеле 8ЧНСП18/22(ДД112). Сравнивались штатные средства очистки (ШСО), включающие фильтр тонкой очистки ФМП-3 с элементами «Нарва-6» и в составе ФМП-3 с центрифугой МНЦ-5П. Его параметры соответствовали:  $P_e = 440$  кВт;  $n = 16,7$  с<sup>-1</sup>;  $p_{me} = 1,7$  Мпа. Двигатель работал на дистиллятном топливе МДТ (ГОСТ 1667-68) и масле М10Г<sub>2</sub>(цс) (ГОСТ 8581-78)/

Преимущества комбинированной очистки ММ фильтром и центрифугой выразились в

низкой концентрации НРБ продуктов  $c_x$  и  $c_{x3}$  и высокой щелочности масла М10Г<sub>2</sub>(цс) (таблица) в течение всего его срока службы [4]. Кинетика старения масла по данным показателям близка к экспоненциальной зависимости. Уровни стабилизации их при использовании КСТОМ, более благоприятны по  $c_x, c_{x3}$  ниже по сравнению с очисткой масла штатными средствами в 1,5-2,8 раза. Щёлочность масла при стабилизации этого показателя была при использовании КСТОМ на 25% выше (таблица). По влиянию на остальные параметры старения масла – окисление, смолообразование комбинация ФМП-3 с МЦН-5П превосходит ШСО в 1,35-1,6 раза.

Таблица – Элементы составов маслоочистительных комплексов

Дизель	Масло	$P_e$ , кВт	$n$ , с <sup>-1</sup>	$p_{me}$ , МПа	Расчётные параметры и состав комплекса							
					$\Delta_{опт}$ , мкм	$F_\phi$ , м <sup>2</sup>	Фильтр	Фильтрующие элементы	$\Sigma$ , м <sup>2</sup>	$V_p$ , см <sup>3</sup>	$\theta_u/\theta_\phi$	Центрифуга
6ЧСП18/22 (ДД112)	М10Г <sub>2</sub> (цс)	440	16,7	1,70	45	10,5	ФМП-3	Нарва 6-4-04	33	1360	0,23	МЦН-5П
6ЧН26/34	М10Г <sub>2</sub> (цс)	880	12,5	1,30	34	24,0	ФМП-5	Нарва 6-1-07	77	3260	0,25	МЦН-7П
6ЧРП26/24	М10ДЦЛ20	1100	10,0	2,04	33	28,8	ФМП-6	Нарва 6-1-07	89	3740	0,21	МЦН-7П
6ЧН30/38 (5 2Д42)	М14ГБ	1100	12,5	1,10	40	30,4	ФМП-6	Нарва 6-4-04	81	3420	0,20	МЦН-7П
8ЧНРП30/38 (6ДР42)	М14ГБ	1840	12,0	1,44	45	40,0	2ФМП-10	Нарва 6-4-04	169	7150	0,30	2МЦН-7П
8ЧНРП30/38 (2 6ДР42)	М14ГБ	2200	12,0	1,72	45	43,2	2ФМП-10	Нарва 6-4-04	174	7380	0,28	2МЦН-7П
5ЧН25/30 (5А25)	М10Г <sub>2</sub> (цс)	680	12,5	1,50	44	14,4	ФМП-4	Нарва 6-4-04	53	2290	0,27	МЦН-6П
5ЧН24/31 (524ТS)	М10Г <sub>2</sub> (цс)	550	12,5	1,26	33	12,8	ФМП-3	Восток 6-4-23	50	2130	0,30	МЦН-6П
8ЧН24/31 (824ТS)	М10Г <sub>2</sub> (цс)	880	12,5	1,26	37	19,2	ФМП-4	Восток 6-4-23	63	2690	0,20	МЦН-6П
4ЧН22/24 (4R22В)	М10ДЦЛ20	530	16,7	1,80	27	12,0	ФМП-3	Восток 6-4-03	31	1270	0,20	МЦН-4П
6ЧН18/23 (6D518)	М10Г <sub>2</sub> (цс)	320	12,5	1,44	42	8,0	ФМП-2	Восток 6-4-04	24	960	0,24	МЦН-8П
8ЧН32/38 (8DSM32)	М10ДЦЛ20	2200	10,0	1,80	27	32,0	2ФМП-8	Восток 6-4-03	141	5640	0,24	МЦН-5П

Глубокая очистка масса центрифугированием от продуктов, катализирующих его окисление и интенсифицирующих срабатывание присадок, на 20-40% замедляет старение масла по основным направлениям и на 30-60% уменьшает загрязнение двигателя углеродистыми отложениями. По сроку службы полнопоточных ФЭ КСТОМ превосходит ФТОМП более чем в два раза. Использование нового маслоочистительного комплекса по сравнению со штатным уменьшает изнашивание деталей двигателя 6ЧНСП18/22 в 1,4-1,7 раза (см. таблицу).

Выбранные для судовых дизелей параметры КСТОМ на основе представленных в работе методик [1, 3, 5] обеспечивают одновременно большой срок службы ММ, минимальный расход ФЭ и надежную защиту двигателей от абразивного изнашивания даже при условии сжигания низкосортных топлив. Предложенные системы по глубине очистки масла от тонкодиспергированных примесей превосходят штатные указанных дизелей в два-шесть раз, по надежности защиты пар трения от попадания частиц с размером более 30 мкм и сроку службы ФЭ – в 1,2-3 раза.

Верхний предел по вместимости роторов  $V_p$ , центрифуг, площади поверхности фильтрации  $F_\phi$ , приходящейся на единицу мощности двигателя, соответствует ДВС с высокой прокачкой масла через внутреннюю систему смазки, по индексу производительности  $\Sigma$  центрифуг – с высокой удельной скоростью загрязнения масла нерастворимыми продуктами [5]. Минимальная относительная пропускная способность центрифуг, удовлетворяющая требованиям по качеству очистки и параметру  $F_r$ , соответствует 0,2-0,3.

Высокая экономичность судовых дизелей с новыми очистителями по расходу топлива, как показали эксплуатационные испытания, обусловлена техническим состоянием их в процессе обработки ресурса [6]. Повышенной скоростью изнашивания деталей ЦПГ (особенно

маслосъемных колец) объясняется рост угара масла в ДВС после 5-8 тыс. ч работы со штатными маслоочистителями. При использовании КСТОМ увеличение угара масла по мере выработки ресурса замедлено в два раза.

Повышение эффективности очистки масла в двигателях рассмотренного типа создаёт предпосылки для сокращения расхода ММ и сменно-запасных частей не менее чем на 20%. КСТОМ рекомендуется использовать в судовых форсированных дизелях средней и повышенной частотой вращения, особенно при работе на низкосортных топливах.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1 Разработана комбинированная система тонкой очистки ММ в дизелях, использующая разные по принципу действия избирательности отсева агрегаты и сочетающая достоинства фильтрования и центрифугирования. Новизна системы состоит в последовательном соединении двух контуров очистки, когда ослабляется грязевая нагрузка на полнопоточный фильтр, что за счёт подачи отцентрифугированного масла увеличивает срок службы ФЭ и повышает надёжность защиты двигателя от абразивного изнашивания. Дополнительное центрифугирование способствует глубокой очистке ММ от мелкодисперсных зольных продуктов изнашивания двигателя и срабатывания присадок, что способствует торможению старения масла.

2 Для судовых тронковых форсированных дизелей разработаны комбинированные системы тонкой очистки ММ. Новизна их состоит в:

- последовательном соединении двух контуров очистки, использующих разные по принципу действия и избирательности отсева МО;
- установке для надёжной защиты пар трения дизеля от опасных крупных частиц загрязнения на полном потоке поступающего в дизель масла фильтра со сменными ФЭ или регенерируемого типа;
- подключении центрифуги с напорным сливом во вспомогательный контур очистки с возможностью поддержания за счёт подпорного клапана высокого давления масла перед соплами гидропривода ротора и, следовательно, фактора разделения ЦО при работе дизеля по винтовой характеристике;
- подаче на фильтр предварительно центрифугированного масла для снижения «грязевой» нагрузки на него и увеличения срока службы ФЭ;
- поддержании постоянного давления масла перед его потребителями установкой на основном насосе дроссельного распределителя с обратной связью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 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.  
 2 Григорьев, М.А. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев. -М.: Машиностроение, 1983. -147 с.  
 3 Кича, Г.П. Повышение эффективности тонкой очистки моторного масла в судовых тронковых дизелях комбинированным фильтрованием / Г.П. Кича, Н.Н. Тарашчан, А.В. Надежкин. -Владивосток: Изд-во Мор. гос. ун-та, 2015. -174 с.  
 4 Кича, Г.П. Эксплуатационная эффективность новых маслоочистительных комплексов в форсированных дизелях / Г.П. Кича // -Двигателестроение. -1987. -№6. -С. 25-29.  
 5 А.с. 762924 СССР, МПК В 01 D 27/06. Комбинирующий фильтрующий элемент / Кича Г.П., Свистунов Н.М.; заявитель Дальневосточное высшее инженерное морское училище им. адмирала Г.И. Невельского. - 2637654/23-26; -заявл. 03.07.78; опубл. 05.09.80, Бюл. 34. - С. 40.  
 6 Кича, Г.П. Влияние очистки масел на их расход в дизельных двигателях / Г.П. Кича // -Химия и технология топлив и масел. -1986. -№8. -С. 22-24.

1 Kicha G.P., Perminov B.N., Nadezhkin A.V., Resource-conserving oil consuming in marine diesels [*Resursosberegayushchee masloispol'zovanie v sudovykh dizelyakh*]. Vladivostok: Maritime St. Univ. Publ. 2011. 372 p.  
 2 Grigor'ev M.A., Oil purification in internal combustion engines [*Ochistka masla v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya*]. Moscow: Mashinostroenie Publ. 1983. 147 p.  
 3 Kicha G.P., Tarashchan N.N., Nadezhkin A.V., Improvement of fine oil purification in marine trunk-type diesels via new combined filtering systems [*Povyshenie effektivnosti tonkoy ochistki motornogo masla v sudovykh tronkovykh dizelyakh kombinirovannym fil'trovaniem*]. Vladivostok: Maritime St. Univ. Publ. 2015. 174 p.  
 4 Kicha G.P., Operational efficiency of new oil purification systems in boosted diesel engines [*Ekspluatatsionnaya effektivnost' novykh masloochistitel'nykh kompleksov v forsirovannykh dizelyakh*]. *Dvigatelistroenie*. 1987. No. 6. pp. 25-29.  
 5 Kicha G.P., Svistunov N.M., Combined cleaning system [*Kombinirovanny fil'truyushchiy element*]. *Otkrytiya izobreteniya promyshlennye obratzysy tovarnye znaki*. September 15, 1980. No. 34. pp. 40.  
 6 Kicha G.P., Effect of oil purification on its consumption in diesel engines [*Vliyaniye ochistki masel na ikh raskhod v dizel'nykh dvigatelyakh*]. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel*. 1986. No. 8. pp. 22-24.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *судовой дизель, ресурсосберегающее маслоиспользование, моторное масло, комбинированная очистка, центрифугирование, изнашивание двигателя*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Кича Геннадий Петрович, докт. техн. наук, профессор МГУ им. адм. Г.И. Невельского*  
*Семенов Людмила Анатольевна, аспирант МГУ им. адм. Г.И. Невельского*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, МГУ им. адм. Г.И. Невельского*



**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕРОЯТНОСТНОГО АЛГОРИТМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

**С.В. Викулов**

**IMPROVEMENT THE MATHEMATICAL MODEL OF PROBABILISTIC ALGORITHM FOR DIAGNOSIS OF MARINE DIESELS COMPONENTS**

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia  
Stanislav V. Vikulov (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

**ABSTRACT:** Authors consider the learning algorithm for the diagnosis of marine power plant components.

**Keywords:** learning algorithm, diagnosis, marine power plants

Рассмотрен обучающий алгоритм диагностирования элементов судовых энергетических установок.

В решении проблемы обеспечения надёжной и ресурсосберегающей эксплуатации судовых дизелей в сложившихся рыночных условиях хозяйствования на водном транспорте важная роль принадлежит использованию технологий диагностирования, отличающихся высокой объективностью и достоверностью принятия решений при постановке диагноза.

В настоящее время становится всё более очевидной необходимость системного подхода к диагностике основных элементов судовых ДВС. Исследуя стохастическое изменение величин комплекса диагностических параметров, характеризующих техническое состояние парка судовых дизелей, на основе системного анализа объекта диагностирования можно создать оптимальные системные модели, алгоритмы и методики диагностирования, позволяющие с наименьшими затратами, используя внутренние резервы системы, эффективно управлять техническим состоянием сложившегося парка дизелей [1-3].

Одним из путей концептуального подхода к повышению эффективности работы системы диагностирования является оптимальное объединение диагностической информации в вероятностном алгоритме распознавания [3, 4]. Используемый в нашей работе алгоритм распознавания «зоны неопределённости» (рисунок 1), основанный на дихотомическом последовательном статистическом анализе А. Вальда, применительно к параметрам работающего масла имеет следующее решающее правило:

$$\frac{P(K^*/D_1)}{P(K^*/D_2)} \geq A; K^* \in D_1; \frac{P(K^*/D_1)}{P(K^*/D_2)} \leq B; K^* \in D_2;$$

– отказ от распознавания  $B < \frac{P(K^*/D_1)}{P(K^*/D_2)} < A$  (1)

где  $P(K^*/D_1)$  – условные вероятности распределения комплекса значений диагностических параметров для исправного  $D_1$  состояния элемента;

$P(K^*/D_2)$  – то же, при дефектном  $D_2$  состоянии элемента;

$A, B$  – избираемые пороги различных уровней для суждения о наличии исправного и дефектного состояний элемента.

Закон распределения отношений условных вероятностей результирующего состояния задаётся как произведение частных законов распределений вероятностей (отношений правдоподобий) параметров

$$\frac{P(K^*/D_1)}{P(K^*/D_2)} = \frac{P(K_{1S}/D_1)}{P(K_{1S}/D_2)} \cdot \frac{P(K_{2S}/D_1)}{P(K_{2S}/D_2)} \cdot \dots \cdot \frac{P(K_{jS}/D_1)}{P(K_{jS}/D_2)} \cdot \dots \cdot \frac{P(K_{mS}/D_1)}{P(K_{mS}/D_2)} = \prod_{j=1}^m \frac{P(K_{jS}/D_1)}{P(K_{jS}/D_2)} = \prod_{j=1}^m \lambda_{jS}, \quad (2)$$

где  $j = 1, \dots, m$  – число параметров;

$\lambda_{jS}$  – отношение правдоподобия  $j$ -го параметра для  $S$ -го интервала его значений.

При принятых ошибках первого и второго рода  $\alpha_{ycm} = \beta_{ycm} = 0,05$  избираемые пороги  $A$  и  $B$  в соотношениях (1) определяются следующим образом

$$A = (1 - \alpha_{ycm}) / \beta_{ycm} = 19; B = \alpha_{ycm} / (1 - \beta_{ycm}) = 1/19 = 0,053. \quad (3)$$

Рассмотренное решающее правило (1) соответствует однородному комплексу диагностических параметров, координаты которого имеют общую единицу измерения. Для разрешения «зоны неопределённости» в системном алгоритме диагностирования следует использовать параметры различной физической природы, получаемые другими методами диагностики, например, параметры вибродиагностики, угара масла, тепловые и др.



Рисунок 1 – Распределение вероятностей ошибок диагноза по концентрации железа для различных состояний дизеля Г70-5: α -ошибка «ложной тревоги»; β -ошибка «пропуска дефекта»

Более того, это правило не учитывает диагностическую ценность параметров, величина которой различна для различных параметров и диагнозов, трудоёмкость диагностических операций и их стоимость. Поэтому представляется целесообразным в решающее правило (1) ввести весовые коэффициенты  $\delta_{ij}$ , которые учитывают диагностическую ценность  $Z_{D_i}(K_j)$ , дисперсию  $\sigma_{ij}^2$  и вариацию  $V = \sigma_{ij} / \bar{K}_{ij}$  j-го параметра K для различных состояний  $D_i$  контролируемых элементов дизеля, а также трудоёмкость и стоимость диагноза.

Основываясь на положении работы [4], в которой такой теоретический подход рассматривается применительно к метрическим методам распознавания образов, весовые коэффициенты  $\delta_{ij}$  при частных законах распределений плотности вероятностей для различных состояний и их отношениях правдоподобий зададим как

$$\delta_{1j} = \frac{Z_{D_1}(K_j)}{V_{1j} \cdot C_2} = \frac{Z_{D_1}(K_j) \cdot \bar{K}_{1j}}{\sigma_{1j} \cdot C_2}; \delta_{2j} = \frac{Z_{D_2}(K_j)}{V_{2j} \cdot C_1} = \frac{Z_{D_2}(K_j) \cdot \bar{K}_{2j}}{\sigma_{2j} \cdot C_1}, \quad (4)$$

где  $Z_{D_1}(K_j), Z_{D_2}(K_j)$  – соответственно диагностическая ценность параметра для исправного и дефектного состояний элемента;

$\sigma_{1j}, \sigma_{2j}$  – среднеквадратическое отклонение j-го параметра K соответственно исправного и дефектного состояний элемента;

$\bar{K}_{1j}, \bar{K}_{2j}$  – соответственно математическое ожидание параметра для исправного и дефектного состояний элемента;

$C_1, C_2$  – соответственно цена ошибки «пропуска дефекта» и цена ошибки «ложной тревоги».

Тогда выражение (2) с учётом выражений (4) и (5) примет следующий вид

$$\frac{P(K^*/D_1)}{P(K^*/D_2)} = \prod_{j=1}^m \frac{\delta_{1j} P(K_{js}/D_1)}{\delta_{2j} P(K_{js}/D_2)} = \prod_{j=1}^m \delta_j \lambda_{js} = \prod_{j=1}^m \Lambda_{js}, \quad (6)$$

где  $\Lambda_{js}$  – приведённое отношение правдоподобий j-го параметра K для S-го интервала его значений

$$\Lambda_{js} = \delta_j \cdot \lambda_{js}.$$

Рассмотренный подход к построению обучающегося алгоритма диагностирования может послужить научным обоснованием внедрения в практику эксплуатации вполне определённого круга средств и методов диагностики элементов СЭУ и стать основой для создания комплексной системы технического диагностирования и прогнозирования их состояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Викулов, С.В. Основы технической диагностики судовых дизелей по комплексу параметров работающего моторного масла / С.В. Викулов. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2011. -176 с.

2 Викулов, С.В. Основы технической диагностики коленчатого вала судового дизеля по пара-

1 Vikulov S.V., Fundamentals of technical diagnostics of marine diesel engines taking a complex of parameters of running engine oil [Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki sudovykh dizeley po kompleksu parametrov rabotayushchego motorного масла]. Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad. Water Transp. Publ. 2011. 176 p.

2 Vikulov S.V., Fundamentals of technical diagnostics of marine diesel engine crankshaft taking a complex of parameters of torsional vibrations [Os-

метрам крутильных колебаний / С.В. Викулов. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2013. -125 с.

3 Викулов, С.В. Математическая модель алгоритма диагностирования эксплуатируемых судовых дизелей на основе спектрального анализа картерного масла / С.В. Викулов, Л.А. Шеромов // - Науч. проб. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2011. -№2. - С. 162-165.

4 Биргер, И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер. -М.: Машиностроение, 1978. -240 с.

*novy tekhnicheskoy diagnostiki kolenchatogo vala sudovogo dizelya po parametram krutit'nykh kolebaniy*]. Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad. Water Transp. Publ. 2013. 125 p.

3 Vikulov S.V., Sheromov L.A., Mathematical model of the algorithm for diagnosing operating marine diesel engines based on the spectral analysis of crankcase oil [Matematicheskaya model' algoritma diagnostirovaniya ekspluatiruemykh sudovykh dizeley na osnove spektral'nogo analiza karternogo masla]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2011. No. 2. pp. 162-165.

4 Birger I.A., Technical diagnosis [*Tekhnicheskaya diagnostika*]. Moscow: Mashinostroenie Publ. 1978. 240 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** обучающий алгоритм, диагностика, судовые энергетические установки  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Викулов Станислав Викторович, докт. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

## ДИАГНОСТИКИ СВАРНЫХ ШВОВ МЕТОДОМ МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

И.Г. Мироненко, А.О. Токарев, А.Г. Мироненко, А.Ф. Кузнецов,  
 Е.С. Федотова, Р.И. Щербаков, М.Г. Тетерина

### METAL MAGNETIC MEMORY TESTING OF WELDED JOINTS

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

Igor' G. Mironenko (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

Aleksandr O. Tokarev (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

Andrey A. Mironenko (Research Officer of SSUWT)

Aleksey F. Kuznetsov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

Ekaterina S. Fedotova (Graduate student of SSUWT)

Roman I. Sherbakov (Student of SSUWT)

Mariya G. Teterina (Student of SSUWT)

**ABSTRACT:** Article analyzes the causes of breakage of welded hollow shafts of steerable propeller units for «Balt Fleet» type ships. By methods of magnetic memory of metal, ultrasonic flaw detection, microstructural studies, measurement of micro-hardness, was determined that breakdowns occurred were due to incomplete fusion of the weld with root region. Lack of fusion and incomplete penetration caused the cracks, which were spread by the aid of presence of quenching structures in heat affected zone of the weld. The method of magnetic memory of metal (MMM) allows indirectly detecting the stresses of the crystal lattice of the metal, caused by the presence of various weld imperfections. MMM is recommended as a method of early diagnostics of fatigue cracks initiation.

**Keywords:** metal magnetic memory, steerable propeller, vertical shaft, breakage, micro crack, welded joint, microstructure, heat affected zone of the weld

Приведен анализ причин поломок полых, собранных сваркой валов винторулевых колонок судов типа «Балт Флот». Методами магнитной памяти металла, ультразвуковой дефектоскопии, микро-структурными исследованиями, измерением микротвёрдости установлено, что поломки произошли вследствие несплавления сварного шва с основным металлом. Непровары вызвали трещины, распространению которых способствовало наличие закалочных структур в зоне термического влияния сварного шва. Метод магнитной памяти металла (ММП-контроль), позволяет косвенным путём обнаруживать напряжения кристаллической решетки металла, вызванные наличием различных дефектов сварного шва. ММП рекомендуется в качестве метода ранней диагностики зарождающихся трещин.

На теплоходах Балт-Флот смешанного плавания типа «река-море» в период навигации 2016 года произошло разрушение четырёх вертикальных валов винторулевых колонок (ВРК). Валы сломались с минимальной наработкой, отработав несколько месяцев с момента постройки.

Данные валы ВРК (рисунок 1) состоят из полый цилиндрической части (2), с приваренным к ней в средней части фланцем (3), и двух оконечных шлицевых втулок (1).

Средняя цилиндрическая часть изготовлена из бесшовной стальной трубы из стали 35 (национальный стандарт КНР GB/T 17395-20080. Химический состав: C=0,32-0,39%).

Материал шлицевых втулок – легированная хром-молибденовая сталь 42CrMo (Национальный стандарт КНР GB/T 3077-1999. Химический состав C=0,38-0,45%; Si=0,17-0,37%; Mn=0,50-0,80%; Cr=0,90-1,20%; Mo=0,15-0,25%). Втулки сопрягаются со средней полый цилиндрической частью буртиками по посадке с гарантированным зазором Ø170 H7/g6 и сварены со средней частью стыковыми швами с – V-образной разделкой кромок. Скосы разделки по 45°, катет – 10 мм. Усиление валика шва снято заподлицо с наружным диаметром вала с помощью ручного шлифовального инструмента.

Шлицевые втулки предварительно были закалены на твёрдость 45-55 HRC.

Все аварии валов имеют общие закономерности. В ходе эксплуатации происходил срез верхней шлицевой втулки в среднем сечении сварного шва. Сварное соединение нижней шлицевой втулки вала не разрушилось.

Поломка винторулевого устройства при маневрировании судна практически лишает его управляемости, что создаёт весьма опасные ситуации. Учитывая внезапность поломки после нескольких месяцев с момента постройки судна, возникает задача – определить причину разрушения верхнего сварного шва и оценить техническое состояние нижнего сварного шва.

Контроль сварного шва был произведен ультразвуковым эхометодом дефектоскопом УД2В-П. с применением совмещенного, наклонного датчика с рабочей частотой 2,5 МГц и углом ввода 65°. В качестве регламентирующего документа для настройки браковочного уровня и оценки качества сварного соединения использован РД РОСЭК 001-96. Настройка чувствительности дефектоскопа произведена по стандартному образцу, изготовленному из стали 35 с искусственным дефектом, выполненным в виде клиновидной зарубки. Зарубка имитирует максимально допустимый непровар в корне сварного шва. Размеры отражателя 3,5×2 мм на глубине 15 мм. Контроль произведен методом прямой и отраженной поперечных волн. Схема сканирования при настройке дефектоскопа и последующем исследовании шва представлена на рисунке 2.

Для выявления поперечных трещин в шве и в зоне термического влияния, произведен контроль по образующей сварного шва. Сканирование выполнялось на поисковой чувствительности, которая была выше контрольной и браковочной на 6 и 12 дБ, соответственно. В результате обследования с амплитудой эхосигнала превышающей браковочный уровень в корне сварного шва выявлен непровар. Сварной шов имеет также недопустимые дефекты по протяженности, фиксируемые на контрольном уровне чувствительности.

Для выяснения возможности выявления опасного преддефектного состояния сварных швов был выполнен поиск зон концентрации напряжений (ЗКН), вызванных искажением кристаллической решётки материала сварного шва. Для этого был использован метод магнитной памяти металла (ММП-контроль) ГОСТ Р ИСО 24497-2-2009 (Общие требования) и ГОСТ Р ИСО 24497-3-2009 (Контроль сварных соединений). Методика исследований описана в работах [1-4], физическая сущность метода – в работах [5, 6]. В общих чертах, диагностика методом магнитной памяти металла сводится к поиску участков детали, имеющих скачкообразное изменение напряжённости собственного магнитного поля и измерению этого скачка.

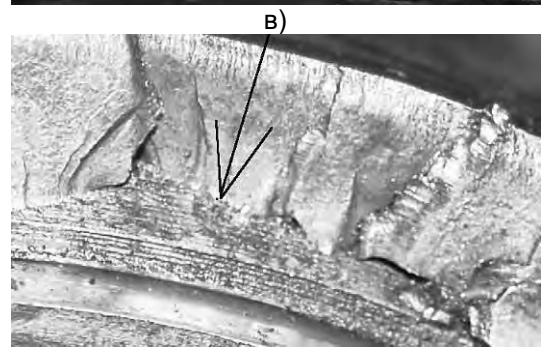
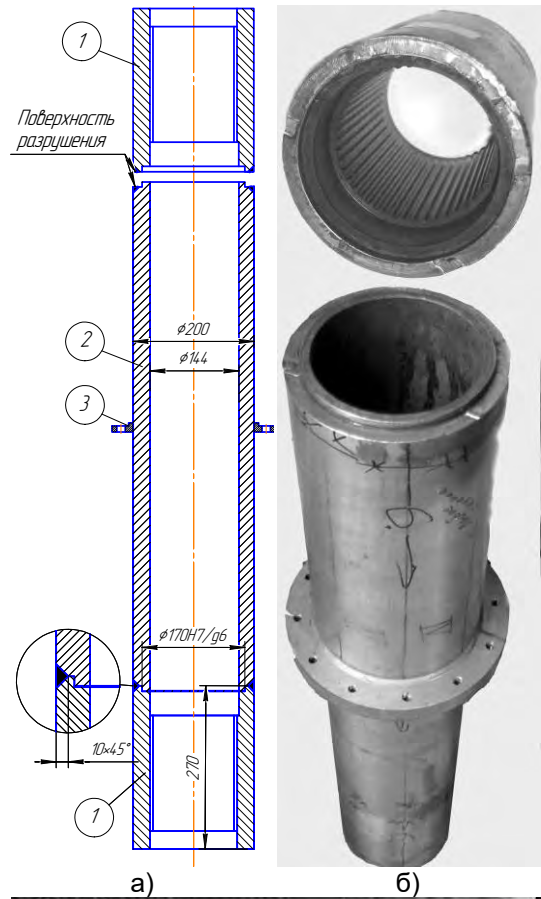


Рисунок 1 – Эскиз и общий вид фрагментов вала ВРК после поломки: а)-эскиз; б)-общий вид поломанного вала; в)-вид поверхности разрушения шлицевой втулки, г)-вид поверхности разрушения средней части (трубы бесшовной)

Для количественной оценки уровня концентрации напряжений на поверхности исследуемой детали используют градиент (интенсивность изменения) напряжённости нормальной составляющей магнитного поля:

$$K_{ИН} = \frac{|\Delta H_p|}{\Delta \ell} = \frac{dH}{dx}, \quad (1)$$

где  $K_{ИН}$  – градиент напряжённости собственного магнитного поля рассеяния (СМПР) или коэффициент интенсивности изменения поля  $H_p$ , характеризующий изменение намагниченности металла в ЗКН;

$|\Delta H_p|$  – модуль разности напряжённости поля  $H_p$  между двумя смежными точками контроля

$$|\Delta H_p| = |H_{i+1} - H_i|;$$

$\Delta \ell$  – расстояние между двумя смежными точками контроля (шаг сканирования).

Опасные, с точки зрения напряжений кристаллической решетки, участки детали могут быть определены при сравнении напряжённости собственного магнитного поля рассеяния (СМПР) нескольких участков между собой. Чем выше  $K_{ИН}$ , тем выше уровень напряжений, тем больше вероятность того, что разрушение детали произойдёт именно в этом месте [5, 6].

Для определения предрасположенности металла объекта контроля к разрушению вычисляют магнитный показатель деформационной способности металла  $m$  по формуле

$$m = \frac{K_{ИН}^{max}}{K_{ИН}^{cp}}, \quad (2)$$

где  $K_{ИН}^{max}$  – максимальное значение градиента напряжённости нормальной составляющей магнитного поля;

$K_{ИН}^{cp}$  – среднее значение градиента напряжённости нормальной составляющей магнитного поля

$$K_{ИН}^{cp} = \frac{1}{n} \sum_n K_{ИН}.$$

Если  $m$  больше предельного значения  $m_{пр}$ , то делают вывод о состоянии металла, предшествующем его разрушению в данной ЗКН. В работах [1, 5] предельное значение магнитного показателя деформационной способности металла определено  $m_{пр} \approx 3,0$  для углеродистых качественных и низколегированных сталей.

Сканирование валов ВРК выполнялось по траекториям (образующим), проходящим по наружной поверхности вала, в направлении от поверхности излома к противоположному концу вала (рисунке 3).

Магнитограммы сканирования объединялись в один файл с именем «TRACK» и указанием часовой образующей. С помощью магнитограмм были определены координаты дислокации ЗКН с наибольшим значением градиента напряжённости  $K_{ИН}^{max}$  разрушенных и неразрушенных сварных швов всех четырёх валов. Характерный вид магнитограмм, содержащих информацию о расположении ЗКН, представлен на рисунок 3.

В результате сканирования и анализа магнитограмм можно выделить два основных участка, где обнаружены ЗКН:

– верхний участок вертикальных валов ВРК – ЗКН расположены в районе поверхности излома разрушенного сварного шва;

– нижний участок вертикальных валов ВРК – ЗКН расположены в околшовной зоне (зоне термического влияния) неразрушенного сварного шва.

Результаты расчётов градиента интенсивности изменения собственного магнитного поля участков валов (таблица) показывают, что наибольшая степень искажения кристаллической решётки находится на верхних участках валов и непосредственно прилегает к зоне излома. Об этом свидетельствуют наибольшие значения градиента интенсивности изменения собственного магнитного поля  $K_{ИН}^{max}$ , зафиксированные в районе разрушенного сварного шва.

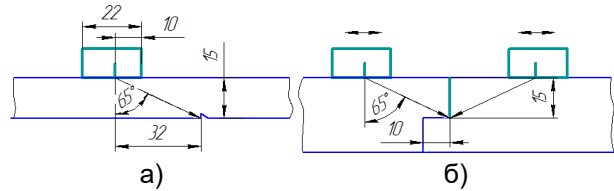
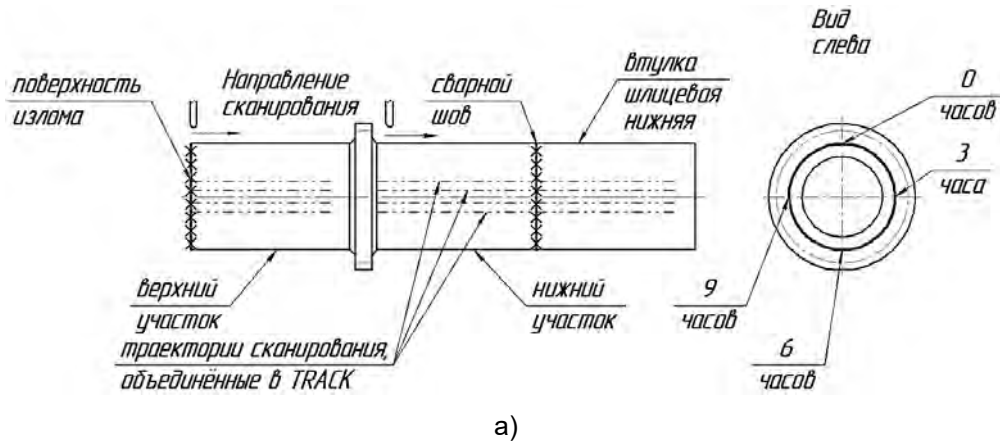
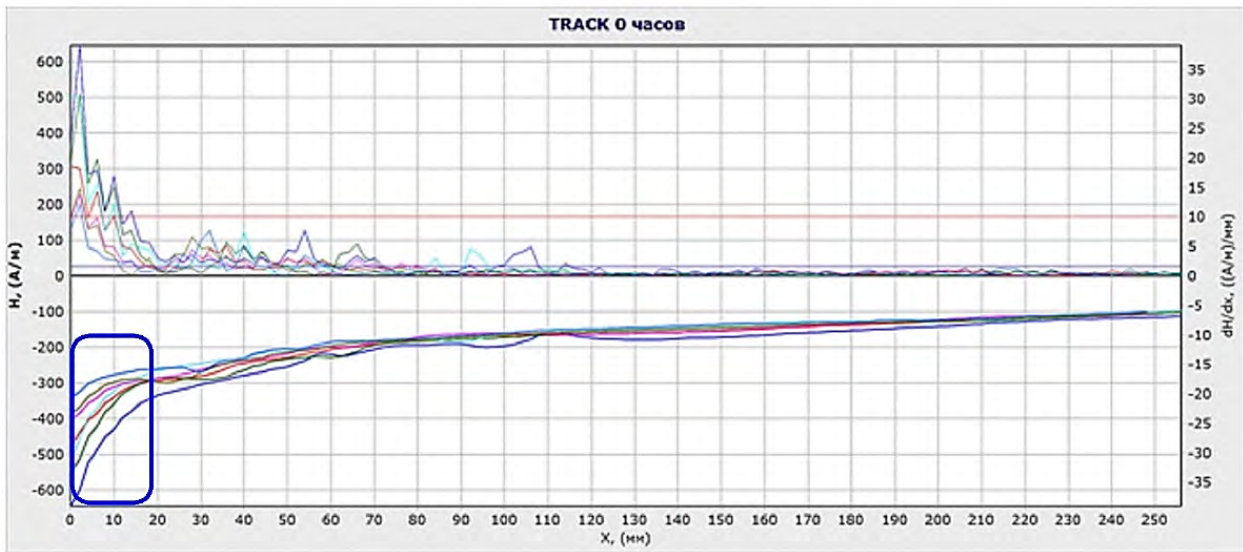


Рисунок 2 – Схема сканирования: а)-при настройке дефектоскопа по стандартному образцу, б)-при контроле сварного шва

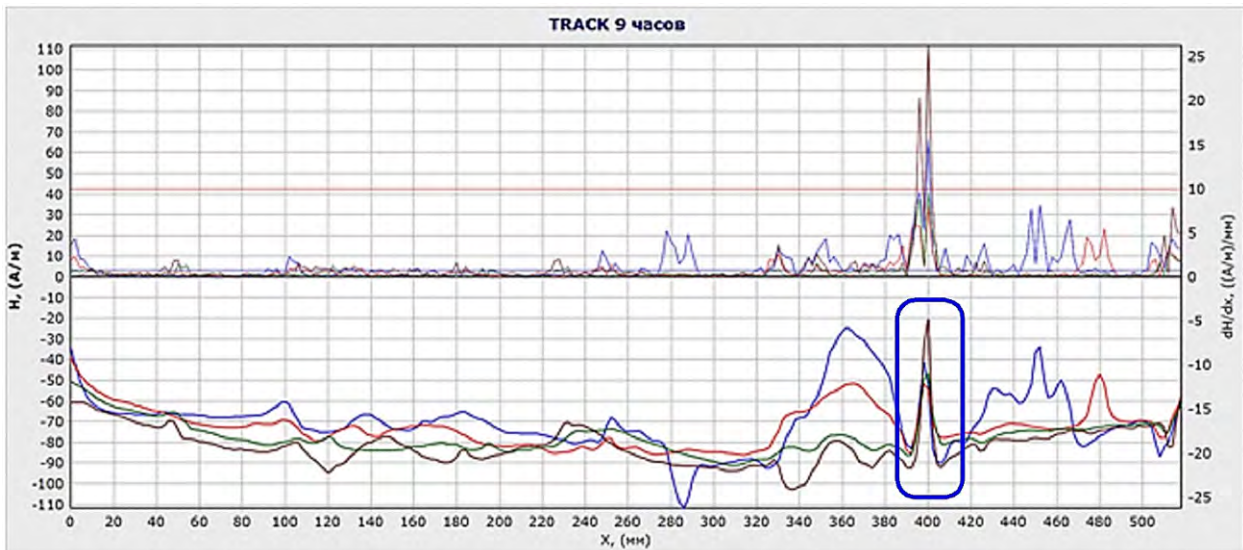




а)



б)



в)

Рисунок 3 – Схема сканирования верхнего и нижнего участков вала ВРК (а) и характерные графики распределения поля  $H_p$  по образующим, вдоль поверхности вертикальных валов ВРК: б)- верхний участок вала №I; в)-нижний участок вала №IV

Как показывают данные таблицы, все сварные швы верхних участков валов, на момент разрушения, находились в преддефектном состоянии. Сварные швы нижних участков валов имеют зоны концентрации напряжений, но, за исключением вала IV, ещё не достигли состояния, предшествующего разрушению.

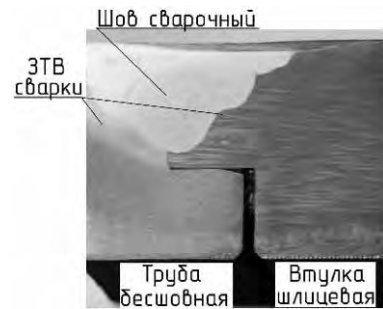
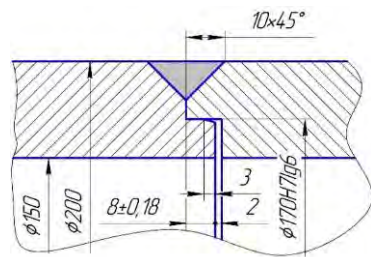
Для выяснения причин искажения кристаллической решётки материала в местах дислокации ЗКН, определённых с помощью магнитограмм методом магнитной памяти металла, были вырезаны образцы для металлографических исследований и измерения микротвёрдости структурных составляющих. Резка производилась абразивными дисками толщиной 1,5 мм с охлаждением зоны резания водой, что исключало разогрев образцов. Структуру сварных соединений выявляли в плоскостях, перпендикулярных направлению сварных швов, после механической полировки травлением 5% раствором азотной кислоты в спирте.

Таблица – Результаты расчётов градиента интенсивности изменения собственного магнитного поля СМНР участков валов

Участок поверхности вала	$K_{ин}^{max}$	$m$
Верхний участок вала I	39,063	5,660
Верхний участок вала II	21,938	3,179
Верхний участок вала III	36,000	5,604
Верхний участок вала IV	41,250	6,421
Нижний участок вала I	17,063	2,473
Нижний участок вала II	19,875	2,880
Нижний участок вала III	14,438	2,247
Нижний участок вала IV	26,250	4,086

В результате проведённого разрушающего контроля, во всех исследованных образцах (I-IV вала, разрушенного и неразрушенного сварного соединения) обнаружены особенности строения, негативно влияющие на его прочность, в частности: непровары, микротрещины, поры, шлаковые включения.

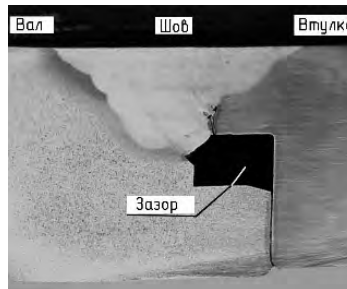
Общий вид поперечного сечения сварных швов и макроструктура металла в зоне разрушения (рисунок 4) говорят о том, что местом возникновения микротрещин являются именно зоны непровара в корне сварного шва.



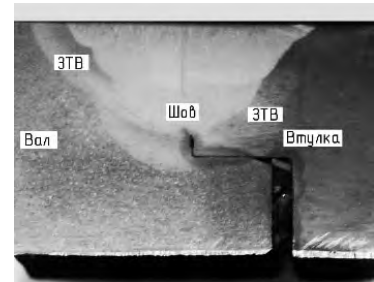
Вал I



Вал II



Вал III



Вал IV

Рисунок 4 – Эскиз и макроструктура сохранившихся сварных соединений

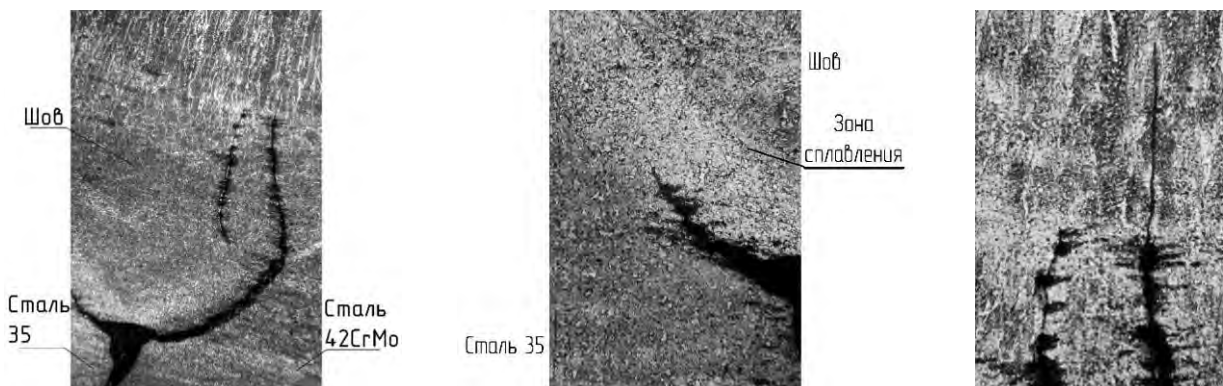


Рисунок 5 – Характерный вид трещин в корне сварного шва в сечении неразрушенного соединения (вал II)



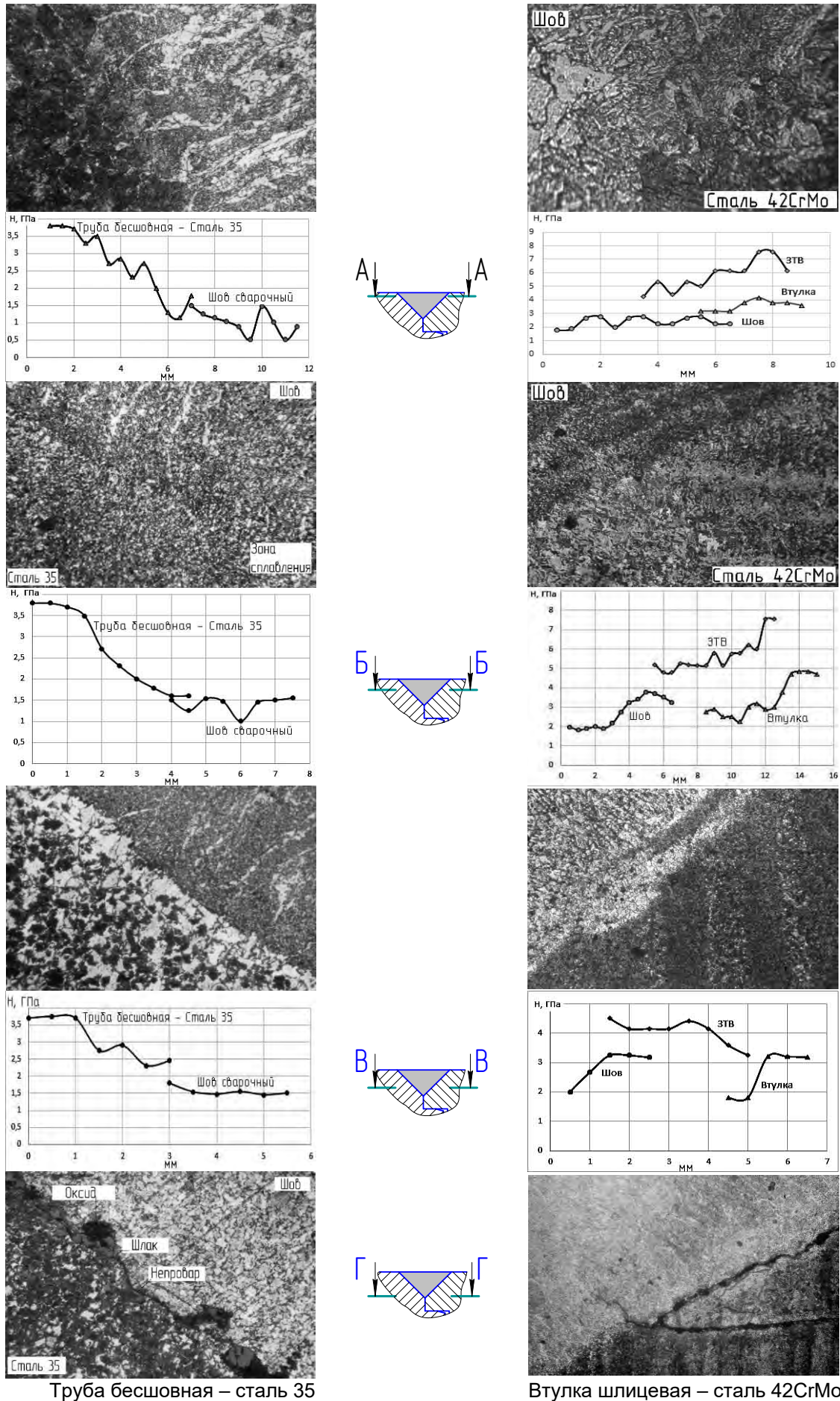


Рисунок 6 – Микроструктура и графики микротвёрдости структурных составляющих в зоне сплавления сварного шва

Микроструктура в зоне сплавления бесшовной трубы со сварным швом на верхних участках разделки кромок имеет крупнозернистое строение (рисунок 6). Такая структура, характерна для сварных соединений конструкционных сталей, образуются при ускоренном охлаждении зоны термического влияния ЗТВ шва из перегретого аустенитного состояния.

В среднем сечении сварного шва зона сплавления стали 35 – мелкокристаллическая. Следовательно, здесь имела место фазовая перекристаллизация с небольшим перегревом относительно температуры фазового перехода.

Структура стали 35 в нижних сечениях сварного шва соответствует температуре неполной фазовой перекристаллизации (рисунок 6в). Здесь же обнаружены непровары. В соответствии с Правилами Речного Регистра [7], эти дефекты недопустимы при выполнении ответственных сварных соединений, поскольку вследствие малого радиуса являются подобием трещин и могут послужить концентраторами напряжений, инициаторами развития трещин и разрушения шва в процессе эксплуатации. Это обстоятельство вполне согласуется с результатами визуального исследования поверхности разрушения сварного шва (см. рисунок 1) и его макроструктурой (см. рисунок 4 и 5).

В зоне сплавления металла сварного шва со сталью 42CrMo, а также в зоне термического влияния сварного шва обнаружены участки с мартенситной закалочной структурой и микротрещинами. Микротвёрдость этих участков достигает 754 НV. На основании проведённых исследований представляются обстоятельства, приведшие к аварийному разрушению сварного соединения.

Материал бесшовной трубы – средняя часть вертикальных валов винторулевой колонки – сталь 35, относится к группе сталей с ограниченной свариваемостью. Для сварки таких сталей рекомендуется предварительный подогрев до температуры 200° С и последующий отпуск или отжиг [8].

Вторая деталь стыкового сварного соединения – шлицевая втулка, изготовленная из плохо свариваемой легированной хроммолибденовой стали 42CrMo, требует подогрева перед сваркой и последующей термической обработки после сварки.

Изготовители полого сварного вала отказались от традиционно применяемой технологии сварки ограниченно и трудно свариваемых сталей, требующей предварительного подогрева деталей и последующего высокого отпуска или отжига. Это связано, очевидно, с желанием сохранить высокую твёрдость шлицевых втулок.

Стремление не допустить закалки сталей в зоне термического влияния сварного шва путём ограничения термического воздействия на металл основы в итоге явилось причиной возникновения непровара. Теплового воздействия при сварке оказалось недостаточно для проплавления и полного заполнения присадочным материалом разделки кромок. Формированию качественного сварного шва препятствовало также отсутствие зазора в его корне (см. рисунок 5).

Одновременно с этим избежать закалки легированной стали 42CrMo в зоне термического влияния сварного шва не удалось. В процессе эксплуатации от участков непровара в момент действия максимальных нагрузок начали распространяться микротрещины (рисунок 7). Распространению трещин способствует закалочная структура, полученная металлом шлицевой втулки в результате сварки без подогрева, а также дендритное строение металла сварного шва.

Наличие микротрещин, развивающихся от концентраторов напряжений, свидетельствует о состоянии металла, предшествующего разрушению, то есть преддефектному состоянию. ММП-контроль, позволяющий выявлять концентраторы напряжений и образующиеся от них дефекты на стадии их зарождения, может быть классифицирован, как метод ранней диагностики зарождающихся дефектов или метод диагностики преддефектного состояния.

**Выводы:**

1 Метод магнитной памяти металла (ММП-контроль) позволяет косвенным путём обна-

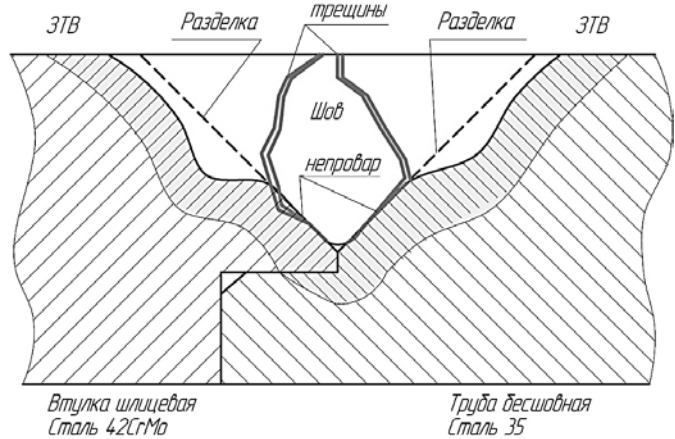


Рисунок 7 – Схема возникновения и распространения трещин в сварном соединении вала ВРК

руживать внутренние дефекты сварного шва, являющиеся концентраторами напряжений (непровары, поры, шлаковые включения, микротрещины);

2 Подтверждается заявление разработчика ММП-контроля о том, что разрушение материала происходит в местах с наибольшим значением градиента напряжённости, свидетельствующем о наибольшей степени искажения кристаллической решётки материала и значением магнитного показателя деформационной способности металла  $m_{np} > 3,0$  характеризующим состояние материала, как предшествующее разрушению;

3 ММП-контроль может быть классифицирован, как метод ранней диагностики зарождающихся дефектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 МIRONENKO, И.Г. Обследование гребных валов методами неразрушающего контроля. Методические указания / И.Г. МIRONENKO, А.Г. МIRONENKO. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. Гос. Акад. Водн. Трансп., 2011. -31 с.

2 МIRONENKO, И.Г. Анализ причин повреждения судовых технических средств: учебник / И.Г. МIRONENKO, А.О. ТОКАРЕВ. -Новосибирск: Изд-во Сиб. Гос. Унив. Водн. Трансп., 2017. -226 с.

3 Исследование вертикальных валов винторулевых колонок теплоходов «Балт Флот»: Отчёт по науч.-иссл. раб. / И.Г. МIRONENKO, А.Г. МIRONENKO, А.О. ТОКАРЕВ. гос. рег. №115102260036. -Новосибирск: Изд-во Сиб. Гос. Унив. Водн. Трансп., 2016. -46 с.

4 ТОКАРЕВ, А.О. Причина и профилактика отказов сварных баллеров винторулевых колонок / А.О. ТОКАРЕВ, И.Г. МIRONENKO, Е.С. ФЕДОТОВА // -Актуальные проблемы в машиностроении. -2017. -Т.4. -№4. -С. 74-83.

5 ДУБОВ, А.А. Метод магнитной памяти металла и приборы контроля: учебное пособие / А.А. ДУБОВ, АЛ.А. ДУБОВ, С.М. КОЛОКОЛЬНИКОВ. -М.: «Спектр», 2012. 395 с.

6 ВЛАСОВ, В.Т. Физическая теория процесса «деформация-разрушение». Ч.1. Физические критерии предельных состояний металла. / В.Т. ВЛАСОВ, А.А. ДУБОВ. -М.: ЗАО «Тиссо», 2007. 517 с.

7 Российский Речной Регистр, Правила (в 5 томах). -М. ФАУ Рос. Речн. Рег., 2015, -Т.2. -437 с.

8 МАКАРОВ, Э.Л. Теория свариваемости сталей и сплавов / Э.Л. МАКАРОВ, Б.Ф. ЯКУШИН. -М.: Изд-во Моск. Гос. Техн. Унив. им. Н.Э. БАУМАНА, 2014. -488 с.

1 MIRONENKO I.G., MIRONENKO A.G., Inspection of propeller shafts by methods of nondestructive testing [Obsledovanie grebnykh valov metodami nerazrushayushchego kontrolya]. Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad. Water Transp. 2011. 31 p.

2 MIRONENKO I.G., TOKAREV A.O., Analysis of the causes of vessel equipment failure [Analiz prichin povrezhdeniya sudovykh tekhnicheskikh sredstv]. Novosibirsk: Siberian St. Univ. of Water Transp. Publ. 2017. 226 p.

3 MIRONENKO I.G., MIRONENKO A.G., TOKAREV A.O., Investigation of vertical shafts of steerable propeller of the "Balt Flot" type vessels [Issledovanie vertikal'nykh valov vintorulevykh kolonok teplokhodov «Balt Flot»]. Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad. Water Transp., 2016. 46 p.

4 TOKAREV A.O., MIRONENKO I.G., FEDOTOVA E.S., The reason and prevention of failures of welded stocks of steerable propellers [Prichina i profilaktika otkazov svarnykh ballerov vintorulevykh kolonok]. Aktual'nye problemy v mashinostroenii. 2017. Vol. 4. No. 4. pp. 74-83.

5 DUBOV A.A., DUBOV A.A., KOLOKOL'NIKOV S.M., Method of magnetic memory of metal and control units [Metod magnitnoy pamyati metalla i pribory kontrolya]. Moscow: Spektr Publ. 2012. 395 p.

6 VLASOV V.T., DUBOV A.A., Physics of processes deformation-fracture. Physical criteria of metal limit states [Fizicheskaya teoriya protsessy «deformatsiya-razrushenie». Fizicheskie kriterii predel'nykh sostoyaniy metalla]. Moscow: ZAO Tisso Publ. 2007. Vol. 1. 517 p.

7 Russian River Register, Regulations (in 5 volumes) [Rossiyskiy Rechnoy Registr, Pravila (v 5 tomakh)]. Moscow: Russian River Register Publ. 2015. Vol. 2. 437 p.

8 MAKAROV E.L., YAKUSHIN B.F., Theory of weldability of steels and alloys [Teoriya svarivaemosti staley i splavov]. Moscow: Moscow St. Techn. Univ. 2014. 488 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** магнитная память металла, винторулевая колонка, вертикальный вал, авария, микротрещина, сварной шов, микроструктура, зона термического влияния сварки

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** МIRONENKO Игорь Геннадьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 ТОКАРЕВ Александр Олегович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 МIRONENKO Андрей Геннадьевич, научный сотрудник ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 Кузнецов Алексей Фёдорович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 Федотова Екатерина Сергеевна, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 Щербаков Роман Иванович, студент ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 Тетерина Мария Григорьевна, студент ФГБОУ ВО «СГУВТ»

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

**ВЫБОР МАТЕРИАЛА И ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА СТЕНКУ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЯ**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

**В.И. Кузьмин, А.С. Дмитриев, Д.А. Сибриков**

**MATERIAL SELECTION AND APPLICATION TECHNOLOGY OF THERMAL INSULATING COATING ON THE COMBUSTION CHAMBER WALL OF DIESEL**

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia  
**Viktor I. Kuzmin** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)  
**Aleksandr S. Dmitriev** (Graduate student of SSUWT)  
**Dmitriy A. Sibrikov** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

**ABSTRACT:** The analysis of properties of thermal insulating materials and technologies of their application on combustion chamber wall of the diesel engine was accomplished. General view of a piston with a thermal insulating coating is performed.

**Keywords:** piston, combustion chamber, thermal insulating coating

Выполнен анализ свойств теплоизолирующих материалов и технологий их нанесения на стенку камеры сгорания дизеля. Приведен общий вид поршня с теплоизолирующим покрытием

Известно, что повысить эффективность использования теплоты и индикаторный КПД дизеля можно посредством сокращения потерь теплоты в охлаждающую среду.

Одним из направлений в решения этой проблемы является изготовление поршней из керамики, теплоизоляция камер сгорания при помощи применения керамических поршней, составных поршней, специальных жаровых накладок прикреплённых к головке поршня, покрытием доньшка поршня материалами имеющие малую теплопроводность [1, 2].

Основным недостатком керамических поршней является низкая механическая прочность материала. Поэтому керамические поршни практического применения не нашли. Недостатками составных поршней являются сложность конструкции, технологии изготовления и монтажа. Применение таких поршней ограничено. Поэтому, наибольший практический интерес представляют цельные металлические поршни с нанесённым на стенки камеры сгорания теплоизоляционным покрытием на основе керамики.

К основным требованиям, предъявляемым к материалу теплоизоляционного покрытия, относятся: высокие механическая прочность, химическая стойкость, температура плавления, адгезия с материалом поршня. Коэффициенты линейного расширения материалов поршня и покрытия должны быть близки. Материал покрытия не должен обладать свойствами катализатора в реакции окисления азота.

К настоящему времени разработаны и освоены в производстве следующие способы нанесения теплоизоляционного покрытия на металлическую поверхность. Это: порошковый, погружения, шликерный, газовый, вакуумный и высокотемпературного напыления.

В первом способе порошок готовится в виде смеси, в состав которого входит активатор. Активатор, взаимодействуя с материалом поршня, образует высококачественное покрытие на деталях сложной формы. Этот метод не требует применения сложных приспособлений и дорогостоящего оборудования.

Недостатками порошкового способа являются сложность (а иногда и невозможность) получения многокомпонентного покрытия заданного состава и трудности связанные с получением оптимальной структуры материала.

Метод погружения заключается в окунании изделия в ванну с материалом покрытия, который находится в жидком состоянии. Ограничения в применении этого метода: температура наносимого жаростойкого покрытия должна быть ниже температуры изделия. Шликер представляет собой смесь порошков металлов, окислов, и других материалов, которая сначала наносится на поверхность металла, а затем обжигается при высокой температуре.

Преимуществом этого метода является высокая технологичность, возможность локального нанесения покрытия только на часть поверхности детали и возможность сравнительно простого получения многокомпонентных покрытий.

Недостатком являются трудности связанные с обеспечением равномерности покрытия и невозможность нанесения покрытия на внутренних поверхностях полых деталей (например – на поверхность камеры сгорания в поршне). Толщина покрытия ограничена толщиной оплавления шликера.

Отличительной особенностью газового или газо-фазного метода является то, что насыщающий материал находится в газообразной фазе и источник насыщающего материала находится в контакте с поверхностью деталей. Достоинством этих методов является: относительная простота получения слоистых покрытий и возможность управления технологическим процессом.

К вакуумным способам относятся катодное распыливание и термическое напыление в вакуумной камере. Эти способы в последнее время находят широкое практическое применение. Достоинствами являются: высокая производительность, чистота и однородность наносимого покрытия, возможность получения жаростойких покрытий.

К недостаткам вакуумного способа относятся: неравномерность толщины покрытия, недостаточно надежное сцепление с основной поверхностью, необходимость использования сложного и дорогостоящего оборудования.

Среди методов высокотемпературного напыления известны следующие. Это газопламенное и плазменное. При высокотемпературном напылении теплоизолирующее покрытие на поверхности получается в результате последовательного нанесения струёй газа расплавленных частиц материала на изделие. Достоинствами метода высокотемпературного



напыления являются: высокая производительность, относительно простая технология, универсальность в использовании материалов и покрытий, возможность нанесения многослойных покрытий на все виды материалов и на любые по форме и размерам детали.

На основе проведённого анализа можно сделать заключение, что для формирования теплоизолирующего покрытия на стенках камеры сгорания дизеля наиболее эффективным будет метод высокотемпературного напыления порошка диоксида циркония  $ZnO_2$ .

Этот материал обладает низким коэффициентом теплопроводности и, что очень важно, является катализатором реакции восстановления оксидов азота, которые содержатся в отработавших газах дизеля [3].

В качестве стабилизирующей добавки используется порошок оксида иттрия  $Y_2O_2$ . Это химическое соединение способствует снятию части механических напряжений, что увеличит прочность полученного покрытия.

Дополнительно, для снятия температурных напряжений на границе теплоизолирующего покрытия с поверхностью поршня применён низкотемпературный отпуск в течение восьми часов. На рисунке 1 изображена фотография штатного поршня, а на рисунке 2 фотография опытного поршня с нанесённым на стенку камеры сгорания теплоизоляционным покрытием.



*Рисунок 1 – Общий вид штатного алюминиевого поршня дизеля Ч10,5/12*



*Рисунок 2 – Общий вид опытного поршня дизеля Ч10,5/12 с теплоизоляционным покрытием стенки камеры сгорания*

Испытания дизеля опытным поршнем продолжительностью более 100 ч подтвердили работоспособность теплоизоляционного слоя на основе порошка диоксида циркония.  $ZnO_2$ .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Конкс, Г.А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта / Г.А. Конкс, В.А. Лашко. -М.: Машиностроение, 2005. -522 с.

2 Кавтарадзе, Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях: учеб. пособ. для ВУЗов / Р.З. Кавтарадзе. -М.: Изд-во Моск. Гос. Техн. Унив. им. Н.Э. Баумана, 2001. -552 с.

3 Зборцев, Г.М. Влияние керамического покрытия поршня на токсичность отработавших газов / Г.М. Зборцев, О.В. Рослякова, Д.А. Сибриков // Дизельные энергетические установки речных судов: сб. научн. тр. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. Гос. Акад. Водн. Трансп., 2003. -Ч.1 -С. 37-41.

REFERENCES

1 Konks G.A., Lashko V.A., World marine diesels' production. Concepts of construction, analysis of international experience [Mirovoe sudovoe dizelstroenie. Kontseptsii konstruirovaniya, analiz mezhdunarodnogo opyta]. Moscow: Mashinostroenie Publ. 2005. 502 p.

2 Kavtaradze R.Z., Local heat transfer in piston engines [Lokal'nyy teploobmen v porshnevnykh dvigatelyakh]. Moscow: Moscow St. Techn. Univ. 2001. 552 p.

3 Zbortsev G.M., Roslyakova O.V., Sibrikov D.A., Effect of the ceramic coating of the piston on the toxicity of the exhaust gases [Vliyaniye keramicheskogo pokrytiya porshnya na toksichnost' otrabotavshikh gazov]. Dizel'nye energeticheskie ustanovki rechnykh sudov. Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad. Water Transp. Publ. 2003. Vol. 1. pp. 37-41.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

*поршень, камера сгорания, теплоизолирующее покрытие*

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

*Дмитриев Александр Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

*Сибриков Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ Ч10,5/12 С ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННОЙ КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.С. Дмитриев, В.И. Кузьмин, Д.А. Сибриков, Г.С. Юр

INVESTIGATION OF THE Ч 10.5/12 DIESEL OPERATION PROCESS WITH THERMAL INSULATED COMBUSTION CHAMBER

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

Aleksandr S. Dmitriev (Graduate student of SSUWT)

Viktor I. Kuzmin (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

Dmitriy A. Sibrikov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

Gennadiy S. Yur (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

**ABSTRACT:** The results of experimental and calculated research of the operation process of Ч10,5/12 diesel engine section with a standard and thermal insulated piston are presented. Authors carried out the analysis of energy and environmental characteristics during the tests.

**Keywords:** thermal insulated combustion chamber, operation process, heat extraction characteristics

Приведены результаты экспериментальных и расчётных исследований рабочего процесса отсека дизеля Ч10,5/12 с штатным и теплоизолированным поршнем. Выполнен анализ полученных в ходе испытаний энергетических и экологических характеристик.

Известно, что повысить эффективность использования теплоты и индикаторный КПД дизеля можно посредством сокращения потерь теплоты в охлаждающую среду.

Одним из направлений решения этой проблемы является теплоизоляция камер сгорания при помощи применения составных поршней, специальных жаровых накладок на головку поршня, покрытия доньшка поршня материалами с малой теплопроводностью [1, 2].

Целью исследования является изучение особенностей рабочего процесса дизеля с опытным поршнем, на стенки камеры сгорания которого нанесён теплоизоляционный слой.

Результаты исследований в этой области неоднозначны и противоречивы. В значительной степени они определяются конструкцией дизеля, топливной аппаратуры и условиями проведения испытаний [2].

В одних случаях энергетические показатели дизеля ухудшаются [2, 3] в других случаях, даже при высоких нагрузках использование керамического теплоизоляционного покрытия доньшка поршня не приводит к увеличению удельного эффективного расхода топлива. Двигатель работает мягче и экономичнее. По данным ЦНИДИ на номинальном режиме работы удельный эффективный расход топлива уменьшается на 2-5%, а на долевых режимах на 5-12% [4].

В лаборатории СДВС «СГУВТ» проведены сравнительные испытания отсека дизеля Ч10,5/12 с штатным и опытным поршнем, стенки камеры сгорания которого покрыты теплоизолирующим слоем с использованием порошка диоксида циркония  $ZnO_2$ . Этот материал обладает низким коэффициентом теплопроводности и, что очень важно, является катализатором реакции восстановления оксидов азота [5]. Технология покрытия доньшка поршня была разработана и осуществлена под руководством канд. техн. наук Кузьмина В.И.

На рисунках 1 и 2 изображены фотографии штатного поршня и опытного поршня с теплоизоляционным покрытием стенок камеры сгорания.



Рисунок 1 – Общий вид штатного поршня



Рисунок 2 – Общий вид опытного поршня с теплоизоляционным покрытием стенок камеры сгорания

С целью исключения возможного отслаивания теплоизоляционного покрытия, что может привести к задирам втулки цилиндра, на верхнюю часть поршня при помощи винтов прикреплялась тонкая стальная пластина.

На рисунке 3 представлены результаты сравнительных испытаний штатного поршня и опытного поршня с теплоизолированной камерой сгорания.

Из рисунка 3 видно, что, при замене штатного поршня на теплоизолированный все приведённые энергоэкологические показатели дизеля заметно ухудшились. Увеличился удельный индикаторный расход топлива, концентрация оксидов азота, монооксида углерода и суммарных углеводородов. Повысилась и температура отработавших газов. Дымность отработавших газов практически не изменилась.

На рисунке 4 приведены индикаторные диаграммы дизеля при работе на штатном и теплоизолированном поршне.

Из рисунка 4 видно, что на теплоизолированном поршне процесс сгорания начинается раньше на  $4^\circ$  поворота коленчатого вала. Значение максимального давления сгорания уменьшилось на 0,27 МПа.

На рисунке 5 представлены результаты численного исследования характеристик тепловыделения, полученные после обработки индикаторных диаграмм приведённых на рисунке 4.

Из приведённого рисунка видно, что при работе на теплоизолированном поршне, в сравнении с штатным поршнем, процесс тепловыделения начинается раньше и проходит менее интенсивно.

На основе результатов исследований приведённых на рисунках 3-5 можно сделать выводы, что ухудшение экономических и экологических показателей дизеля при замене штатного поршня на поршень с теплоизолированной камерой сгорания произошло из-за дополнительного подогрева свежего воздушного заряда от горячих стенок камеры сгорания.

Следствием этого явилось уменьшение коэффициента наполнения, периода задержки воспламенения топлива и периода кинетического горения. Одновременно с этим увеличился период диффузионного горения, и окончание процесса сгорания сместилось на линию расширения. Затягивание процесса сгорания является причиной увеличения удельного индикаторного расхода топлива и температуры отработавших газов.

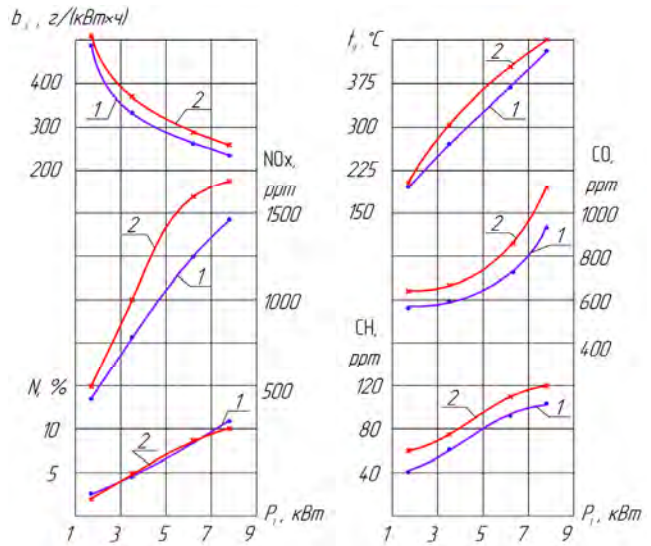


Рисунок 3 – Нагрузочные характеристики дизеля Ч10,5/12 при частоте вращения коленчатого вала 1500 об/мин: 1-штатный поршень; 2-поршень с теплоизолированной камерой сгорания;  $b_1$  - удельный индикаторный расход топлива,  $г/(кВт·ч)$ ;  $NO_x$  - концентрация оксидов азота,  $ppm$ ;  $N$  - дымность отработавших газов измеренная по шкале Hartrige, %;  $t_g$  - температура отработавших газов,  $°C$ ;  $CO$  - концентрация монооксида углерода,  $ppm$ ;  $CH$  - концентрация суммарных углеводородов,  $ppm$

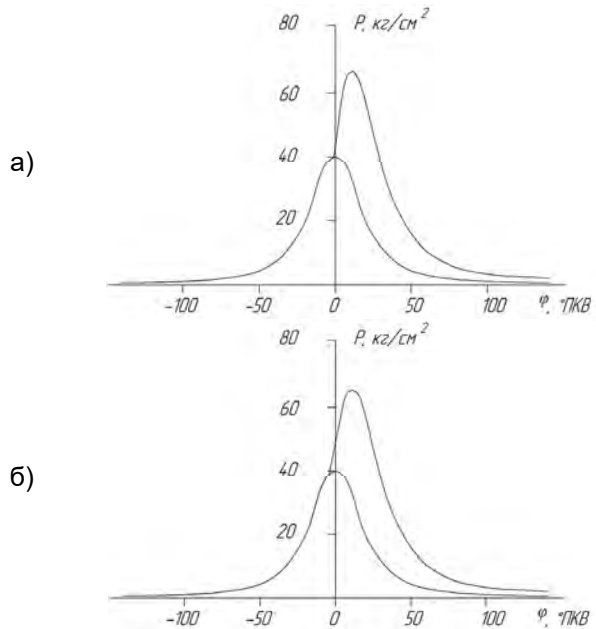


Рисунок 4 – Индикаторные диаграммы дизеля Ч10,5/12 полученные на приборе «ДЕКАРТ-203» конструкции СГУВТ: а)- диаграмма давления газов в цилиндре по углу поворота коленчатого вала полученная на штатном поршне; б)- диаграмма давления газов в цилиндре по углу поворота коленчатого вала полученная на поршне с теплоизолированной камерой сгорания



С повышением максимальной температуры рабочего тела увеличилась скорость окисления азота, содержащегося в воздушном заряде.

**Выводы:**

1 При разработке новых конструкций дизелей необходимо учитывать, что температура стенки камеры сгорания не должна превышать определённого оптимального, для конкретной конструкции дизеля, уровня, в целях обеспечения наилучших экологических и энергетических характеристик.

2 Для компенсации ухудшения энерго-экологических характеристик дизеля при перегреве стенок камеры сгорания можно рекомендовать охлаждение доньшка поршня смазочным маслом, охлаждения воздушного заряда поступающего в цилиндр дизеля и дополнительное возмущение воздушного заряда в камере сгорания в целях сокращения периода диффузионного горения.

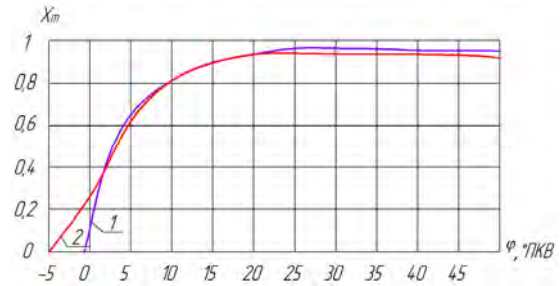


Рисунок 5 – Характеристики тепловыделения, полученные при работе на штатном и теплоизолированном поршне: 1-штатный поршень; 2-теплоизолированный поршень

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Конкс, Г.А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта / Г.А. Конкс, В.А. Лашко. -М.: Машиностроение, 2005. -522 с.  
 2 Кавтарадзе, Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях: учеб. пособ. для ВУЗов / Р.З. Кавтарадзе. -М.: Изд-во Моск. Гос. Техн. Унив. им. Н.Э. Баумана, 2001. -552 с.  
 3 Ждановский, Н.С. Влияние теплоизолирующего покрытия днища поршня на износостойкость и рабочий процесс двигателя / Н.С. Ждановский, М.Д. Никитин, А.А. Зуев // -Энергомашиностроение. -1967. -№5. -С. 40-43.  
 4 Селиверстов, В.М. Экономия топлива на речном флоте / В.М. Селиверстов, М.И. Браславский. -М.: Транспорт, 1983. -231 с.  
 5 Зборцев, Г.М. Влияние керамического покрытия поршня на токсичность отработавших газов / Г.М. Зборцев, О.В. Рослякова, Д.А. Сибриков // Дизельные энергетические установки речных судов: сб. научн. тр. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. Гос. Акад. Водн. Трансп., 2003. -Ч.1 -С. 37-41.

1 Konks G.A., Lashko V.A., World marine diesels' production. Concepts of construction, analysis of international experience [Mirovooe sudovooe dizelestroenie. Kontseptsii konstruirovaniya, analiz mezhdunarodnogo opyta]. Moscow: Mashinostroenie Publ. 2005. 502 p.  
 2 Kavtaradze R.Z., Local heat transfer in piston engines [Lokal'nyy teploobmen v porshnevnykh dvigatelyakh]. Moscow: Moscow St. Techn. Univ. 2001. 552 p.  
 3 Zhdanovskiy N.S., Nikitin M.D., Zuev A.A., Effects of a heat-insulating covering of the piston crown on wear resistance and operation of the engine [Vliyaniye teploizoliruyushchego pokrytiya dnishcha porshnya na iznosostoykost' i rabochiy protsess dvigatelya]. Energo-mashinostroenie. 1967. No. 5. pp. 40-43.  
 4 Seliverstov V.M., Braslavskiy M.I., Fuel economy in river fleet [Ekonomiya topliva na rechnom flote]. Moscow: Transport Publ. 1983. 231 p.  
 5 Zbortsev G.M., Roslyakova O.V., Sibrikov D.A., Effect of the ceramic coating of the piston on the toxicity of the exhaust gases [Vliyaniye keramicheskogo pokrytiya porshnya na toksichnost' otrabotavshikh gazov]. Diesel power plants of river ships [Dizel'nyye energeticheskie ustanovki rechnykh sudov]. Novosibirsk St. Acad. Water Transp. Publ. 2003. Vol. 1. pp. 37-41.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** теплоизолированная камера сгорания, рабочий процесс, характеристика тепловыделения  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Дмитриев Александр Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 Кузьмин Виктор Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 Сибриков Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 Юр Геннадий Сергеевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ С ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННЫМ ПРОФИЛИРОВАННЫМ ПОРШНЕМ**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

**А.С. Дмитриев, В.И. Кузьмин, С.В. Титов, Г.С. Юр**

**INVESTIGATION OF DIESEL OPERATION PROCESS WITH THERMAL INSULATED PISTON**  
 Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia  
**Aleksandr S. Dmitriev** (Graduate student of SSUWT)  
**Viktor I. Kuzmin** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)  
**Sergey V. Titov** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)  
**Gennadiy S. Yur** (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

**ABSTRACT:** This paper presents the outcomes of experimental and theoretical research study of diesel engine Ч 10.5/12 operation process enhanced with standard and experimental thermal insulated pistons and with various type combustion chambers.

**Keywords:** diesel, operation process, gas-dynamic oscillations, thermal insulated combustion chamber

Приведены результаты экспериментального и теоретического исследования рабочего процесса дизеля Ч10,5/12 с штатным и опытными теплоизолированными поршнями и с различными камерами сгорания.

Испытания дизеля Ч10,5/12 проведённые в лаборатории СДВС показали, что при замене штатного поршня на теплоизолированный поршень все исследуемые энергетические экологические показатели дизеля в целом ухудшились.

Увеличился удельный индикаторный расход топлива, концентрация оксидов азота, монооксида углерода и суммарных углеводородов. Повысилась температура отработавших газов. Дымность отработавших газов практически не изменилась.

Ухудшение экономических и экологических показателей дизеля при использовании поршня с теплоизолированной камерой сгорания произошло из-за дополнительного подогрева свежего воздушного заряда от горячих стенок камеры сгорания.

В результате уменьшился коэффициент наполнения, период задержки воспламенения топлива и период кинетического горения. Одновременно с этим увеличился период диффузионного горения. Это привело к тому, что окончание процесса сгорания сместилось на линию расширения.

При повышении максимальной температуры рабочего тела в камере сгорания увеличилась скорость окисления азота, содержащегося в воздухе.

Полученные результаты согласуются с выводами, изложенными в монографии Р.З. Кавтарадзе [1].

Как показали результаты численного исследования, компенсировать негативные явления, полученные при использовании поршня с теплоизолированной камерой сгорания можно посредством дополнительного возмущения воздушного заряда в виде пульсаций газовой среды [2].

Взвешенные в воздушной среде капли распыленного топлива, обладая определённой массой не в состоянии строго отслеживать колебания среды, и, следовательно, будет ей обдуваться.

При возбуждении газодинамических колебаний в камере сгорания появляется возможность интенсифицировать процесс диффузионного горения, сократить его длительность и уменьшить удельный расход топлива.

По аналогии с формой камеры сгорания дизеля «ЭЛКО» нами был изготовлен опытный поршень с теплоизолированной камерой сгорания и профилированной верхней частью, предназначенной для возбуждения газодинамических колебаний.

Проведём сравнительные исследования рабочего процесса отсека дизеля Ч10,5/12 в следующей последовательности:

На рисунке 1 изображен штатный поршень. На рисунке 2 – поршень с теплоизолированной камерой сгорания и плоской сменной стальной пластиной в верхней части.

На рисунке 3 поршень с теплоизолированной камерой сгорания и с профилированной сменной стальной пластиной в верхней части. Профилированная пластина предназначена для возбуждения газодинамических колебаний.



Рисунок 1 – Общий вид штатного поршня дизеля Ч10,5/12



Рисунок 2 – Общий вид опытного поршня с плоской сменной стальной пластиной



Рисунок 3 – Общий вид опытного поршня с профилированной сменной стальной пластиной

На рисунке 4 изображены характеристики отсека дизеля Ч10,5/12 при работе на штатном поршне и опытных поршнях с плоской и профилированной верхней частью.

Из рисунка 4 видно, что при использовании теплоизолированного поршня с плоской сменной пластиной в сравнении с штатным поршнем, как и было отмечено ранее привело к ухудшению энергетических и экологических характеристик дизеля.

Использование теплоизолированного поршня с профилированной сменной пластиной, предназначенной для возбуждения газодинамических колебаний, дало возможность частично компенсировать отрицательные явления, связанные с дополнительным подогревом воздушного заряда от горячих стенок камеры сгорания.

На рисунке 5 приведены индикаторные диаграммы, полученные на опытных теплоизолированных поршнях.

При сравнении рисунков 4 и 5 можно отметить, что при возбуждении газодинамических колебаний значения максимального давления сгорания, периода задержки воспламенения не изменились

На рисунке 6 представлены результаты численного исследования характеристик тепловыделения, полученные в результате обработки индикаторных диаграмм приведённых на рисунках 4 и 5. Расчет проводился по программе представленной профессором С.А. Калашниковым.

Из рисунка 6 видно, что при наличии газодинамических колебаний процесс тепловыделения идёт более интенсивно. Следствием этого является уменьшение расхода топлива и температуры отработавших газов.

Уменьшение концентрации оксидов азота произошло за счёт размывания пульсациями газовой среды областей с высокими температурами, в которых происходит окисление азота содержащегося в воздухе.

**Выводы:**

1 Возбуждение газодинамических колебаний в поршне с теплоизолированной камерой сгорания позволило частично компенсировать отрицательное воздействие на рабочий процесс явлений, связанных с дополнительным

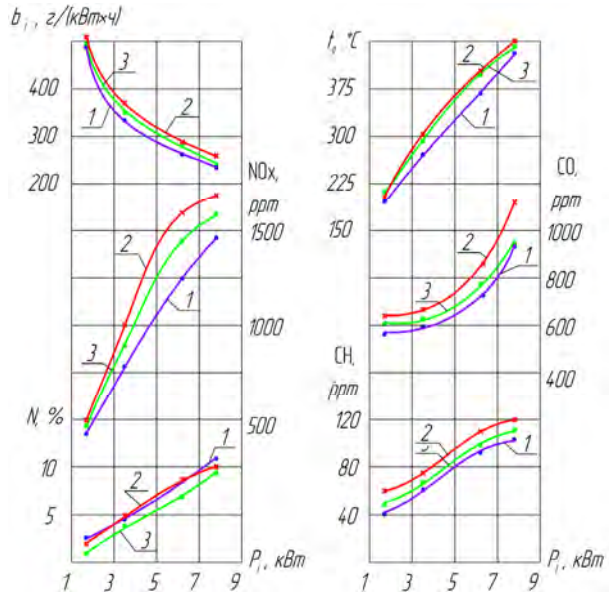


Рисунок 4 – Нагрузочные характеристики дизеля Ч10,5/12 при частоте вращения коленчатого вала 1500 об/мин: 1-штатный поршень; 2-теплоизолированный поршень с плоской поверхностью верхней части; 3-теплоизолированный поршень с профилированной поверхностью, предназначенной для возбуждения газодинамических колебаний;  $b_e$  - удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч);  $NO_x$  - концентрация оксидов азота, ppm;  $N$  - дымность отработавших газов по шкале Hartrige, %;  $t_g$  - температура отработавших газов, °С;  $CO$  - концентрация монооксида углерода, ppm;  $CH$  - концентрация суммарных углеводородов, ppm

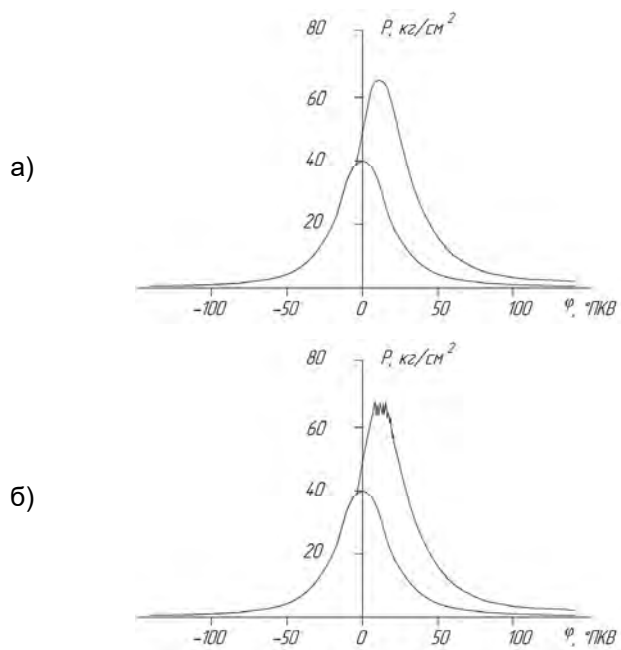


Рисунок 5 – Индикаторные диаграммы дизеля Ч10,5/12: а)-теплоизолированный поршень с плоской поверхностью верхней части; б)-теплоизолированный поршень с профилированной поверхностью, предназначенной для возбуждения газодинамических колебаний



подогревом воздушного заряда от стенок поршня.

2 В целях улучшения энергетических и экологических характеристик высокофорсированных дизелей с перегретыми стенками камеры сгорания, наряду с возбуждением газодинамических колебаний считаем также целесообразным использование дополнительного охлаждения доньшка поршня смазочным маслом и охлаждение воздушного заряда.

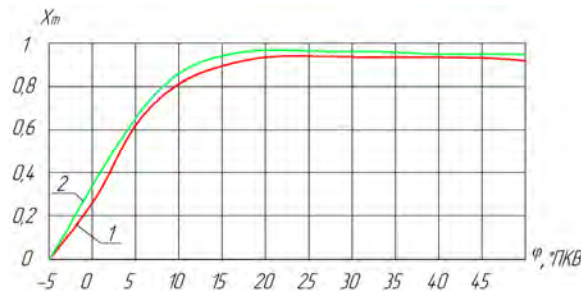


Рисунок 6 – Характеристики тепловыделения опытного дизеля, полученные при работе на теплоизолированном поршнях различной конструкции: 1-теплоизолированный поршень с плоской поверхностью верхней части; 2-теплоизолированный поршень с профилированной поверхностью

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Кавтарадзе, Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях: учеб. пособ. для ВУЗов / Р.З. Кавтарадзе. -М.: Изд-во Моск. Гос. Техн. Унив. им. Н.Э. Баумана, 2001. -552 с.  
 2 Юр, Г.С. Волновые процессы в судовых дизельных энергетических установках / Г.С. Юр. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. Гос. Акад. Водн. Трансп., 1999. -109 с.

1 Kavtaradze R.Z., Local heat transfer in piston engines [Local'nyy teploobmen v porshnevnykh dvigatelyakh]. Moscow: Moscow St. Techn. Univ. 2001. 552 p.  
 2 Yur G.S., Wave action in marine diesel power plants [Volnovye protsessy v sudovykh dizel'nykh energeticheskikh ustanovkakh]. Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad. Water Transp. Publ. 1999. -109 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизель, рабочий процесс, газодинамические колебания, теплоизолированная камера сгорания  
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дмитриев Александр Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 Кузьмин Виктор Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 Титов Сергей Владиленович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 Юр Геннадий Сергеевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

**АНАЛИЗ ВОЗМУЩЁННОГО СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕГО ТЕЛА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

**А.С. Дмитриев, С.В. Титов, Г.С. Юр**

**ANALYSIS OF THE DISTURBANCE OF WORKING FLUID IN THE COMBUSTION CHAMBER OF MARINE DIESEL ENGINES**  
 Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia  
 Aleksandr S. Dmitriev (Graduate student of SSUWT)  
 Sergey V. Titov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)  
 Gennadiy S. Yur (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

**ABSTRACT:** Carrying out numerical research, it was determined that for marine diesel engines the most powerful and stable pulsations of the working fluid are cross radial and tangential gas-dynamic oscillations with a frequency in the range from 800 to 10000 Hz.

**Keywords:** diesel, combustion chamber, gas-dynamic oscillations

В результате численного исследования определено, что для судовых дизелей наиболее мощными и устойчивыми пульсациями рабочего тела являются поперечные радиальные и тангенциальные газодинамические колебания с частотой в диапазоне от 800 до 10000 Гц.

В процессе горения распыленного в камере сгорания топлива рабочее тело находится в сильно возмущённом состоянии.

Известно, что одновременно с осредненным вращательным движением, в цилиндре дизеля возбуждаются газодинамические колебания широкого спектра частот. Эти колебания являются одним из основных источников шума, который генерируется работающим двигателем. В дизелях, на процесс горения приходится 70-80% общего шума во всем спектре частот [1]. Газодинамические колебания возбуждаются при горении топлива по кинетическому ме-

ханизму Schneider V., Schmillen K., Pichinger F. [2].

Отмечено, что наиболее сильные пульсации газовой среды наблюдаются на низких частотах. Звуковое давление на этих частотах составляет 200-210 дБ [3].

Рассмотрим зависимость между интенсивностью звука, звуковым давлением и амплитудой скорости смещения частиц газовой среды.

В таблице 1 приведены значения этих параметров полученные в результате расчета.

Известно, что определяющими параметрами, от которых зависит частота газодинамических колебаний в дизелях с неразделенными камерами сгорания, являются диаметр цилиндра и скорость звука [5]. Это свидетельствует о том, что газодинамические колебания имеют волновую природу.

Поэтому сложное трёхмерное колебательное движение газовой среды в цилиндре дизеля можно представить в виде системы стоячих волн в следующем виде [6]:

- осевые колебания, распространяющиеся вдоль оси цилиндра;
- радиальные колебания, распространяющиеся по радиусу к оси цилиндра;
- тангенциальные колебания, распространяющиеся по касательным к окружности цилиндра.

При нахождении поршня в районе ВМТ расстояние между поршнем и крышкой цилиндра в двигателях с объёмным смесеобразованием мало, и можно считать, что колебательное движение газа направленное вдоль оси цилиндра отсутствует. Поэтому в камере сгорания дизеля будут иметь место только поперечные колебания.

В сравнении с другими видами колебаний газовой среды в закрытом объёме наиболее устойчивыми и мощными являются стоячие волны. Они распространяются между абсолютно жёсткими стенками и не передают энергию. В стоячих волнах кинетическая энергия переходит в потенциальную и обратно, поэтому её потери минимальны.

Для существования стоячих волн необходимо, чтобы расстояние между жёсткими стенками равно целому числу полуволн.

Для поперечных (тангенциальных и радиальных) стоячих волн, размеры которых ограничены внутренним диаметром цилиндра, частота стоячих волн зависит от скорости звука и определяется по формуле [6]

$$f = \frac{nc}{2D}, \quad (1)$$

- где  $f$  – частота колебаний;  
 $n$  – число полуволн (целое число 1,2,3, ...);  
 $c$  – скорость звука;  
 $D$  – диаметр цилиндра.

Наибольшая интенсивность (амплитуда колебаний) будет у стоячих волн имеющих одну, две, три и четыре полуволны ( $n = 1; 2; 3$  и  $4$ ). С увеличением числа полуволн интенсивность газодинамических колебаний уменьшается.

В таблице 2 приведены результаты расчета низкочастотных гармоник радиальных и тангенциальных стоячих волн имеющих место в камерах сгорания судовых четырехтактных дизелей. Расчеты выполнены по методике, которая изложена в работе [7]. Скорость звука при температуре 2000 К, которая рассчитывалась по уравнению состояния [8], принята равной 1000 м/с.

Из таблицы 2 видно, что частота газодинамических колебаний рабочего тела первых четырёх гармоник в камерах сгорания судовых дизелей находится в диапазоне от 860 до 21000 Гц.

Приведенные расчеты удовлетворительно согласуются с результатами экспериментальных исследований [1], где экспериментально определено, что наиболее интенсивными

*Таблица 1 – Зависимость интенсивности звука, силы звука, звукового давления и амплитуды скорости смещения частиц газа для осциллирующей газовой среды в звуковом диапазоне частот [4]*

Интенсивность звука, дБ	Сила звука, Вт/см <sup>2</sup>	Амплитуда скорости смещения частиц газа, м/с
100	0,000001	0,005
110	0,00001	0,016
120	0,0001	0,050
130	0,001	0,16
140	0,01	0,5
150	0,1	1,6
160	10	5
170	100	16

являются частоты газодинамических колебаний выше 800 Гц, а диапазон резонансных частот находится в интервале 5000-10000 Гц.

*Таблица 2 – Частота первой  $f_1$ , второй  $f_2$ , третьей  $f_3$  и четвертой  $f_4$  гармоник поперечных стоячих волн возбуждающихся в цилиндре дизеля*

Изготовитель	Заводская марка	Типоразмер по ГОСТ 10150	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$
Дагдизель Россия	ДС 35	4ЧСП9,5/11	5260	10500	1578	21100
ЯМЗ Россия	ЯМЗ 530	ЧН10,5/12,8	4760	9520	1430	19000
ЯМЗ Россия	ЯМЗ 651	6ЧН12,3/15,6	4060	8120	1218	16200
КАМАЗ Россия	КАМАЗ 740	8ЧН12/12	4170	8340	1250	16670
ЯМЗ Россия	ЯМЗ 240	8ЧН13/15	3850	7700	1155	15400
КАМАЗ Россия	Д 947	6ЧН13/14	3850	7700	1155	15400
Барнаул трансмаш Россия	ЗД6С2	6ЧН15/18	3330	6670	9990	13300
Звезда Россия	М504	56ЧН16/17	3120	6250	936	12500
Звезда Россия	М420	12ЧН18/20	2780	55500	8340	11100
Дальдизель Россия	ДРА-300	6ЧН18/22	2780	55500	8340	11100
Синара-Транспортные Машины Россия	ДМ 185	12ЧН18,5/21,5	2700	5400	8100	10800
Волжский завод им. Маминых Россия	–	6ЧН21/21	2380	4760	7140	9520
Коломенский завод Россия	Д49	12ЧН26/26	1920	3850	5760	7700
РУМО Россия	Г75	6ЧРН36/45	1420	2830	4260	5670
MAN Diesel&Turbo Германия	–	ЧН16/24	3120	6250	9360	12500
Mitsubishi Япония	–	ЧН17/18	2940	5880	8820	11800
MAN Diesel&Turbo Германия	–	ЧН32/40	1560	3120	4680	6250
MAN Diesel&Turbo Германия	–	6ЧН58/64	862	1724	1090	3450

Из таблицы 1 видно, что резонансные частоты соответствуют частотам первой и второй гармоникам поперечных стоячих волн. Газодинамические колебания с частотами соответствующими частоте третьей и четвертой гармоник будут обладать существенно меньшей интенсивностью (в сравнении с двумя первыми), и будут оказывать меньшее влияние на процессы тепломассопереноса в процессе испарения и горения капель распыленного топлива.

**Выводы:**

1 Для судовых дизелей наиболее мощными и устойчивыми являются поперечные радиальные и тангенциальные газодинамические колебания рабочего тела с частотой в диапазоне от 800 до 10000 Гц. Это соответствует частотам первой и второй гармоник поперечных стоячих волн.

2 Амплитуда смещения газовой среды относительно нейтральной оси в условиях камеры сгорания дизеля может достигать более 16 м/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Чигир, Н.А. Образование и разложение загрязняющих веществ в пламени / Н.А. Чигир, Р.Дж. Вейнберг, К.Т. Боумэн; Пер. с англ. под ред. Ю. Ф. Дитякина. - М. : Машиностроение, 1981. -407 с.

1 Norman A.Chigier, Pollution formation and destruction in flames-introduction. *Energy Combust. Sci.*, 1975, Vol 1, pp. 3-15.  
2 Schneder, M., Schmillen, R., Pischinger, F. Regulaties

2 Schneder, M., Schmillen, R., Pischinger, F. Regulaties of cylinder pressure oscillation process and noise. SAE Tech. Pap. Sept. 1987. №872248, p. 1-9.

3 Справочник по механической акустике: / Пер. с нем. / Под ред. М. Хекла и Х.А. Мюллера; // -Л.: Судостроение, 1980. - 440 с.

4 Горбатов, А.А. Акустические методы измерения расстояний и управления / А.А. Горбатов, Г.Е. Рудашевский. -М.: Энергоиздат, 1981. -208 с.

5 Зинченко, В.И. Шум процесса сгорания в дизеле / В.И. Зинченко, В.И. Лошаков // Тр. ЦНИИМФ. -Вып. 171. -Л.: Транспорт, 1973. С. 84-199.

6 Юр, Г.С. Волновые процессы в судовых дизельных энергетических установках / Г.С. Юр. -Новосибирск: Изд-во Новосибир. Гос. Акад. Водн. Трансп., 1999. -109 с.

7 Скобцев, Е.А. Методы снижения вибрации и шума дизелей / Е.А. Скобцев, А.Д. Изотов, Л.В. Тузов. -М.: -Л.: Машгиз. 1962. -192 с.

8 Калашников, С.А. Экологически безопасные технологии на водном транспорте / С.А. Калашников, А.Г. Николаев. -Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. унив. водн. трансп., 2016. -241 с.

of cylinder pressure oscillation process and noise. SAE Tech. Pap. Sept. 1987. №872248, pp. 1-9.

3 Heckl M., Muller H.A., *Handbook of Engineering Acoustics=Taschenbuch der technischen akustik*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg-New York. 1975.

4 Gorbatov A.A., Rudashevskiy G.E., Acoustic methods of distance measurement and control [*Akusticheskie metody izmereniya rasstoyaniy i upravleniya*]. Moskou: Energoizdat Publ. 1981. 208 p.

5 Zinchenko V.I., Loshakov V.I., Combustion noise in diesel [Shum protsessa sgoraniya v dizele]. *Trudy Tsentral'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta morskogo flota*. St. Petersburg: Transport Publ. 1973. Vol. 171. pp. 84-199.

6 Yur G.S., Wave action in marine diesel power plants [*Volnovye protsessy v sudovykh dizel'nykh energeticheskikh ustanovkakh*]. Novosibirsk: Novosibirsk St. Acad. Water Transp. Publ. 1999. -109 p.

7 Kalashnikov S.A., Nikolaev A.G., Environmental-friendly water transport technologies [*Ekologicheski bezopasnye tekhnologii na vodnom transporte*]. Novosibirsk: Siberian St. Univ. Water Transp. Publ. 2016. 241 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

*дизель, камера сгорания, газодинамические колебания*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

*Дмитриев Александр Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

*Титов Сергей Владиленович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

*Юр Геннадий Сергеевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

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

## КОНСТРУКТИВНЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ УГАРА МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

Г.П. Кича, М.И. Тарасов

### DESIGN AND OPERATIONAL METHODS OF ENGINE BURNING OIL LEVEL IN MARINE DIESELS

Maritime State University named after admiral G.I.Nevelskoi (MSU named after adm. G.I.Nevelskoi) 50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia

Gennadiy P. Kicha (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

Maksim I. Tarasov (Graduate student of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

**ABSTRACT:** The paper presents new developments aimed to reduce the burning of motor oil in trunk diesels by improving the design of cylinder-piston group, by the selection of unified engine oil and its complex purification. Authors specify the optimum burnout value of the engine oil depending on the diesel boost and quality of used fuels and lubricants.

**Keywords:** burn-out loss, oil consumption, oil consuming, acceptable oil consumption, oil scraper rings, piston ring, motor oils

Приведены разработки, направленные на сокращение расхода моторного масла на угар в тронковых дизелях посредством совершенствования конструкций деталей цилиндрико-поршневой группы, подбора унифицированного моторного масла и комбинированной его очистке. Указана величина оптимального угара моторного масла в зависимости от форсировки дизеля и качества применяемых горюче-смазочных материалов.

Основной тенденцией в развитии судовых дизелей является повышение их цилиндриковой и агрегатной мощности и технико-экономических показателей, в том числе за счет снижения расхода моторных масел (ММ). В настоящее время расход масла на угар составляет 50-90% суммарного расхода масла (в большинстве дизелей 70-85%). Из этого соотношения следует, что снижение угара является наиболее эффективным направлением в повышении экономичности дизелей по расходу масла [1, 2].

Физико-химические свойства ММ имеют немаловажное значение в решении задач экономичности дизелей. Если такие показатели как вязкость, индекс вязкости, испаряемость, фракционный и групповой составы непосредственно сказываются на угаре масла, то влияние моюще-диспергирующих, антиизносных и антиокислительных свойств сказывается иначе (рисунок 1) и их действие проявляется в течение продолжительного периода использования ММ.

Хорошие моюще-диспергирующие свойства масла уменьшают пригорание поршневых колец и забивку дренажных отверстий углеродистыми отложениями, что и приводит к интенсивному росту угара ММ. Таким образом, можно констатировать, что эксплуатационный угар



масла в значительной мере зависит от наработки дизеля. В зависимости от того, как изменяется износ и чистота деталей двигателя, происходит увеличение угара.



Рисунок 1 – Механизмы влияния масел на угар в зависимости от их физико-химических свойств

Масла с высокими антиизносными свойствами способствуют сохранению зазоров в трущихся парах в допустимых пределах более длительное время, что замедляет рост угара масла при эксплуатации ДВС. Сохранению угара на минимальном уровне за период работы дизеля между переборками способствует глубокая очистка ММ от мелкодисперсных зольных нерастворимых примесей. При этом тормозится старение масла и детали цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) остаются чистыми длительное время.

Разработаны эксплуатационные мероприятия по сокращению расхода масла в дизелях. Основными из них являются:

- применение масел с повышенными вязкостью и индексом вязкости, а также низкой испаряемостью;
- оптимизация концентраций многофункциональных присадок в масле с учетом качества топлива и форсировки дизеля;
- использование унифицированных масел с высокой термо- и водостойкостью и низкой эмульгируемостью, повышенными антиизносными, антикоррозионными и моюще-диспергирующими свойствами при соотношении щелочности к зольности 8-12;
- полнопоточная тонкая очистка ММ фильтрованием с дополнительным центрифугированием его для торможения старения, что особенно важно при низком угаре масла.

Установлено, что чрезмерное снижение расхода масла на угар (до 0,5 г/(кВт·ч)) может привести к аварийной ситуации – задиру поршней, наволакиванию металла, поломке колец. В этих условиях весьма важно определить минимально допустимую величину расхода масла на угар, при которой дизель надежно отработывал бы заданный ресурс до первой переборки без увеличения общих эксплуатационных затрат. Зона наиболее рационального расхода масла при реализации новых научно-технических решений по комплексному повышению эффективности маслоиспользования для большинства форсированных дизелей находится в диапазоне угара от 1 до 3 г/(кВт·ч).

На стабилизацию угара в эксплуатации оказывают большое влияние качество масла, эффективность его очистки и применение обкаточных композиций присадок.

Комплексное повышение эффективности маслоиспользования, предусматривает учет качества топлива, избирательность отсева нерастворимых продуктов маслоочистителем при назначении оптимального угара масла, сам подбор ММ, отвечающих требованиям ДВС, а так же рациональное его использования.

Для снижения расхода масла в судовых дизелях применяются конструкторские, технологические и организационные мероприятия, к важнейшим из которых можно отнести:

- применение поршней с минимально допустимыми зазорами во втулке цилиндра и оптимальной геометрией боковой поверхности, в том числе овально-бочкообразной формы;
- использование для изготовления поршней материалов с малым коэффициентом линейного расширения, например Ал-25, Ал-26 и др.;
- оптимизацию формы и геометрических размеров поршня (применение поршней овально-бочкообразной формы) и снижение его температуры;
- совершенствование конструкции компрессионных и маслосъемных поршневых колец;
- использование маслосъемных колец с заданной эпюрой радиальных давлений, с экспандерами, минутных, торсионных и др.;
- выбор оптимальных профилей, расположения и количества поршневых колец;
- применение новых материалов и антиизносных покрытий при изготовлении колец;
- оптимизацию маслоотводящих элементов поршня;
- улучшение охлаждения втулок цилиндров и поршней;
- повышение жесткости втулок цилиндра и уменьшение ее вибрации;
- разработка технически обоснованных норм расхода смазочного масла [7, 8].

Пути снижения расхода ММ в дизелях приведены на рисунке 2. В основном конструктивные мероприятия коснулись оптимизации конструкции деталей ЦПГ. Кроме того, совершенствовалась система смазки (СС) ДВС путем подбора ММ оптимального эксплуатационного уровня с использованием комбинированной его очистки. Такая СС была обозначена как система смазки повышенной эффективности (ССПЭ) [3].



Рисунок 2 – Пути снижения расхода моторного масла в ДВС

По данным исследований МГУ им. адм. Г.И. Невельского в тронковых дизелях без наддува и средней форсировки (таблица) угар был снижен в 1,7-3,5 раза, а в форсированных машинах он уменьшен до значений 1,2-1,5 г/(кВт·ч) за счет уменьшения количества поршневых колец и повышения их маслосъемного действия. Но применение данных маслосъемных колец может привести к интенсификации износа деталей трибосопряжения «кольцо-втулка», что неизбежно вызовет увеличение расхода топлива и снижению экономичности дизеля. Поэтому необходимо лимитировать величины удельных давлений колец значениями 0,8-1,5 МПа при ширине кромок коробчатых маслосъемных колец 0,5-1,2 мм.

В дизелях других типов усовершенствование коснулось только поршневых колец и масляных уплотнений турбокомпрессоров. Применяли маслосъемные кольца повышенной эф-

фективности: скребковые, коробчатые с экспандером, обеспечивающие удельное давление не ниже 0,6 МПа. Были также улучшены маслососкабливающие свойства компрессионных колец – использовали «минутные», торсионные кольца с повышенной радиальной шириной (рисунок 3). Весьма перспективным мероприятием по снижению угара масла является применение компрессионных колец с заданной эпюрой радиальных давлений, маслосъемных колец с экспандером и хромированной рабочей кромкой.

Таблица – Расход ММ, достигнутый совершенствованием ЦПП и комплексным повышением эффективности смазочных систем

Дизели	Угар масла, г/(кВт·ч)		Срок службы масла, тыс. ч		Общий расход масла, г/(кВт·ч)	
	ШСС*	ССПЭ	ШСО	ССПЭ	ШСО	ССПЭ
Ч и ЧН 15/18	5,0-7,0	2-3	0,2	1,5-2,0	6,0-8,0	2,5-3,5
Ч и ЧН 18/22	2,0-3,0	1,2-1,5	0,5	ДР	2,5-4	1,5-2,0
ЧН 24/31	1,5-3,0	1,2-2,0	0,5	1,5-2,0	2,0-3,5	1,5-2,5
ЧН 25/34	2,0-2,5	1,2-1,5	1,5	ДР	2,5-3,0	1,4-1,7
Ч и ЧН 24/36	2,5-5,0	1,8-2,5	1,0	ДР	3,0-6,0	2,0-2,7
ЧН 32/48	3,0-4,0	1,8-2,5	1,0	ДР	3,0-5,0	2,0-2,7

\*-штатная система смазки; ДР-использование в режиме долгорботающих масел со сменой по браковочным показателям

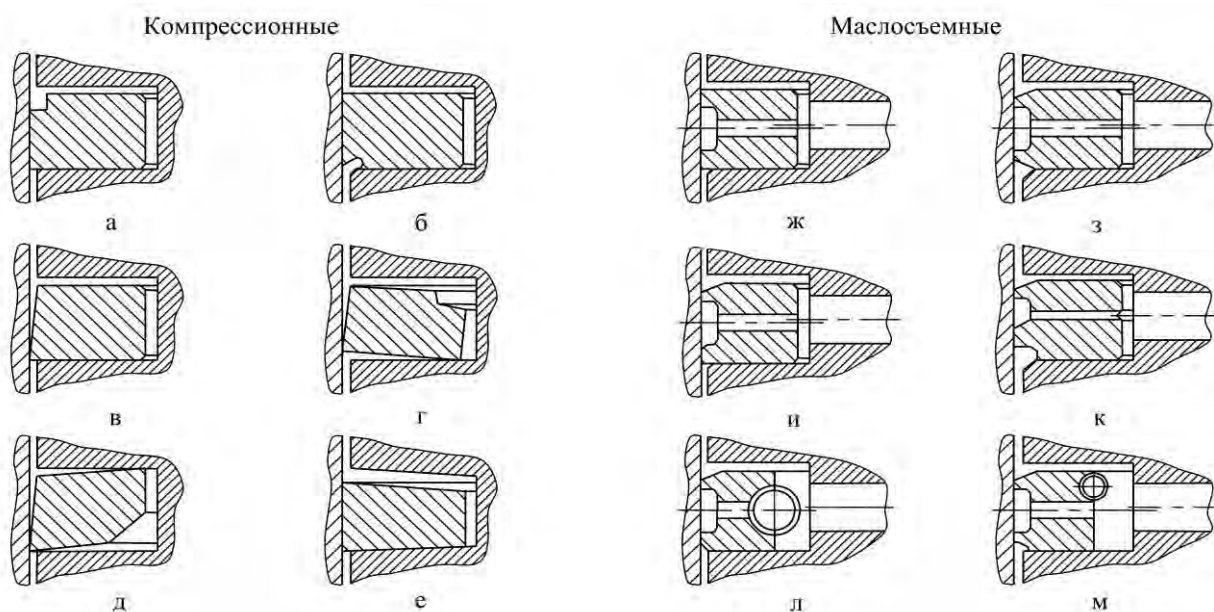


Рисунок 3 – Поршневые кольца повышенной эффективности: а)-прямоугольное с выточкой; б)-скребковое; в)-минутное; г)-торсионное; д)-торсионное со скошенной торцевой поверхностью; е)-трапецевидное; ж)-коробчатого сечения; з)-коробчатого сечения, с двусторонними скосами; и)-коробчатого сечения, с односторонними скосами; к)-сдвоенные скребковые; л)-с центральным экспандером; м)-с односторонним экспандером

Анализ проведенных исследований показывает, что наибольшим маслосъемным действием обладают коробчатые кольца с тангенциальными пружинными расширителями. Несколько уступают им скребковые, минутные и торсионные кольца, хотя в определенных условиях они показывают достаточно высокую эффективность.

Хорошие результаты дает молибденовое покрытие поршневых колец. Оно, по сравнению с пористым хромированием, в 1,2-1,5 раза удлиняет период работы дизеля до резкого возрастания угара масла. Для обеспечения низких расходов масла в эксплуатации рекомендовано использование ММ с высокоэффективными присадками, тонкую полнопоточную и комбинированную очистку его в двигателе.

Повышение моюще-диспергирующих свойств и термоокислительной стабильности снижает пригорание поршневых колец и уменьшает забивку дренажных отверстий, что способствует стабилизации угара на нижнем уровне. Снижение зольности масла и улучшение его противоизносных свойств подбором специальных присадок способствует уменьшению из-

нашивания основных деталей дизеля и сохранению угара в течение длительного времени на первоначальном его значении, сформированном конструкторскими мероприятиями.

Благоприятно сказывается на снижении изнашивания маслосъемных колец с высоким удельным давлением применение модификаторов трения. Поэтому для работы с  $g_y < 1$  г/(кВт·ч) при удельных давлениях маслосъемных колец 1,2-3,0 МПа использование модификаторов трения желательно. Это позволяет уменьшить скорость изнашивания маслосъемных колец в 2-3 раза и способствует стабилизации угара ММ в течение 8-12 тыс. ч работы на уровне 0,7-1,5 г/(кВт·ч).

Необходимость определения оптимального угара масла потребовала проведения специального моторного эксперимента для выяснения влияния  $g_y$  на изнашивание дизелей разной форсировки, работающих на топливах широкого группового и фракционного составов.

В результате исследований [1, 4, 5] было определено, что существует определенный угар  $g_{yopt}$  при котором  $I$  достигает минимума

$$I_{min} = 4,51 + 1,45K_{mm} + 34,1p_{me} + 14,1K_{mm}p_{me} - 0,173K_{mm}^2 - 4,76p_{me}^2, \quad (1)$$

где  $K_{mm}$  – показатель совершенства системы «топливо-масло», отн. ед.;

$p_{me}$  – среднеэффективное давление дизеля, МПа.

Рассчитанный по уравнению (1) оптимальный угар для среднеоборотного дизеля с доверительной вероятностью 90% совпадает с экспериментальными замерами  $g_{yopt}$  у большинства форсированных дизелей средней и повышенной частоты вращения.

Проведенные исследования показали, к какому значению угара масла необходимо стремиться, чтобы достичь самого высокого технико-экономического эффекта. Анализ влияния угара масел с разными эксплуатационными свойствами на их старение и состояние дизеля позволил выявить причины, препятствующие снижению угара масла до рациональных пределов и сохранению достигнутого уровня в течение длительного периода без ухудшения работоспособности двигателя [6].

В заключении можно отметить. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях можно достигнуть реализацией следующих мероприятий:

- совершенствованием конструкции деталей цилиндро-поршневой группы;
- использованием маслосъемных колец с заданной эпюрой радиальных давлений, с экспандерами, минутных, торсионных и др.;
- применением новых материалов и антиизносных покрытий при изготовлении колец;
- использованием полнопоточной тонкой очистка ММ фильтрованием с дополнительным центрифугированием его для торможения старения, что особенно важно при низком угаре масла.
- применением масел с повышенной вязкостью и индексом вязкости, а также низкой испаряемостью;
- оптимизацией концентрации многофункциональных присадок в масле с учетом качества топлива и форсировки дизеля;
- снижением угара масла регулированием маслосъемного действия поршневых колец и уменьшением поступления его в камеру сгорания дизеля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 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.  
 2 Кича, Г.П. Комплексное системное решение проблемы ресурсосберегающего маслоиспользования в судовых дизелях / Г.П. Кича, А.В. Надежкин, С.В. Глушков // -Морские интеллектуальные технологии. - 2016. -№3 (33). -Т.1. -С. 118-126.  
 3 Кича, Г.П. Повышение эффективности тонкой очистки моторного масла в судовых тронковых дизелях комбинированным фильтрованием / Г.П. Кича, Н.Н. Тарашчан, А.В. Надежкин. -Владивосток: Изд-во Мор. гос. ун-та, 2015. -174 с.  
 4 Кича, Г.П. Имитационное моделирование смазки трибосопряжений и изнашивания основных деталей ДВС / Г.П. Кича, А.В. Надежкин, Б.Н. Перминов // -Транспортное дело России. -2004. -Сп. №2.

1 Kicha G.P., Perminov B.N., Nadezhkin A.V., Resource-conserving oil consuming in marine diesels [*Resursosberegayushchee masloispol'zovanie v sudovykh dizelyakh*]. Vladivostok: Maritime St. Univ. Publ. 2011. 372 p.  
 2 Kicha G.P., Nadezhkin A.V., Glushkov S.V., Comprehensive solution of resource-conserving oil consuming in marine diesels [Kompleksnoe sistemnoe reshenie problemy resursosberegayushchego masloispol'zovaniya v sudovykh dizelyakh]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. 2016. No. 3 (33). Vol. 1. pp. 118-126.  
 3 Kicha G.P., Tarashchan N.N., Nadezhkin A.V., Improvement of fine oil purification in marine trunk-type diesels via new combined filtering systems [*Povyshenie effektivnosti tonkoy ochistki motornogo masla v sudovykh tronkovykh dizelyakh kombinirovannym fil'trovaniem*]. Vladivostok: Maritime St. Univ. Publ. 2015. 174 p.  
 4 Kicha G.P., Nadezhkin A.V., Perminov B.N., Simulation of tribological contacts lubrication and wear of the main engine parts [Imitatsionnoe modelirovanie smazki tribosopryazheniy i iznashivaniya osnovnykh detaley DVS]. *Transportnoe delo Rossii*. 2004. Spec. Vol. 2.

-С. 51-53.

5 Кича, Г.П. Моделирование изнашивания судовых тронковых дизелей при использовании унифицированных моторных масел / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин, С.А. Завадский // -Трение и износ. - 2004. -Т.25. -№6. -С. 635-641.

6 Кича, Г.П. Триботехнические характеристики нерастворимых продуктов загрязнения моторных масел и их влияние на износ двигателя / Г.П. Кича, Г.М. Липин, С.П. Полоротов // -Трение и износ. -1986. -Т.7. - №6. -С. 1068-1078.

7 Соболенко, А.Н. Определение технически обоснованных норм расхода горюче-смазочных материалов СДУ / А.Н. Соболенко, В.В. Маницын // -Проб. трансп. Дальн. Вост.: мат-лы XXI межд. науч.-практ. конф. 2-4 окт. 2015. (FEBRAT-15). -Владивосток: Дальневост. отд. Рос. акад. трансп., 2015. -С. 175-176.

8 Соболенко, А.Н. Определение расхода топлива и моторного масла судовыми дизелями с учетом изменения внешних условий эксплуатации / А.Н. Соболенко, Р.Р. Симашов, Д.К. Глазюк, В.В. Маницын // -Вестн. Астрахан. Гос. Техн. Унив.: сер. Морская техника и технология. -2017. -№3. -С. 62-73.

pp. 51-53.

5 Kicha G.P., Perminov B.N., Nadezhkin A.V., Zavadskiy S.A., Modeling the wear of ship trunk diesels using universal motor oils [Modelirovanie iznashivaniya sudovykh tronkovykh dizeley pri ispol'zovanii unifitsirovannykh motornykh masel]. *Trenie i iznos*. 2004. Vol. 25. No. 6. pp. 635-641.

6 Kicha G.P., Lipin G.M., Polorotov S.P. Tribotechnical characteristics of insoluble oil contaminants and their effect on engine wear [Tribotekhnicheskie kharakteristiki nerastvorimyykh produktov zagryazneniya motornykh masel i ikh vliyanie na iznos dvigatelya]. *Trenie i iznos*. 1986. Vol. 7. No. 6. pp. 1068-1078.

7 Sobolenko A.N., Manitsyn V.V., Determination of fuel and lubricants consumption rates in marine diesel engines [Opredelenie tekhnicheskoi obosnovannykh norm raskhoda goryuche-smazochnykh materialov SDU]. *Problemy transporta Dal'nego Vostoka – FEBRAT-15*. Vladivostok: Far Eastern branch of the Russian Transport Academy Publ. 2015. pp. 175-176.

8 Sobolenko A. N., Simashov R.R., Glazyuk D.K., Manitsyn V.V. Estimation of fuel and motor oil consumption by marine diesels subject to environment changes [Opredelenie raskhoda topliva i motornogo masla sudovymi dizelyami s uchetoм izmeneniya vneshnikh usloviy ekspluatatsii]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2017. Vol. 3. pp. 62-73.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

*угар, расход масла, маслоиспользование, оптимальный угар масла, маслосъёмные кольца, поршневые кольца, моторные масла*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

*Кича Геннадий Петрович, докт. техн. наук, профессор МГУ им. адм. Г.И. Невельского  
Тарасов Максим Игоревич, аспирант МГУ им. адм. Г.И. Невельского*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

*690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, МГУ им. адм. Г.И. Невельского*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГАРА МАСЛА НА ЕГО СТАРЕНИЕ И СОСТОЯНИЕ МАЛОРАЗМЕРНОГО ДИЗЕЛЯ

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

М.И. Тарасов, Г.П. Кича

### INVESTIGATION OF BURN-OUT OIL EFFECT TO ITS AGING AND TO THE CONDITION OF A SMALL-SIZE DIESEL

Maritime State University named after admiral G.I.Nevelskoi (MSU named after adm. G.I.Nevelskoi) 50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia

**Maksim I. Tarasov** (Graduate student of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

**Gennadiy P. Kicha** (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

**ABSTRACT:** This paper explores the effect of specific oil burn-out on its pollution by insoluble products, oxidation and activation of additives. The study of wear and carbon buildup of a diesel engine as a function of this value is carried out. The relationship of oil aging relative rate in internal combustion engines and its burnout is considered.

**Keywords:** *oil bur-out loss, oil consumption, oil aging, oil consuming, acceptable oil consumption, marine diesel*

Рассматривается влияние удельного угара моторного масла на его загрязнение нерастворимыми продуктами, окисление и срабатывание присадок. Исследуется изнашивание и нагарообразование дизеля в функции от этого показателя. Приводится зависимость относительной скорости старения масла в двигателях внутреннего сгорания от его угара.

Экономичность ДВС по расходу смазочного масла служит важнейшим показателем их технического уровня и конкурентоспособности. Расход в дизеле моторного масла (ММ) складывается из его угара и замены при сливе. Эти показатели в значительной мере зависят от конструкции, форсировки и технического состояния двигателя. Качество применяемых на судах горюче-смазочных материалов, в свою очередь, оказывает непосредственное влияние на их эксплуатационный расход, ресурс и надежность дизеля. Эта взаимосвязь диктует необходимость комплексного подхода к решению проблемы повышения экономичности двигателей по расходу ММ [1, 2].

Снижение эксплуатационного расхода ММ в ДВС следует считать перспективным направлением в решении общей проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на флоте. Отечественные двигатели по общему расходу масла еще не доведены до уровня лучших мировых образцов, и резервы дальнейшего уменьшения его угара и увеличения срока службы в дизеле значительны.

Проведенный анализ угара ММ в судовых ДВС показал, что на него значительное влияние оказывают конструктивные, технологические и эксплуатационные факторы: конструкция

поршневых колец и поршня, величина зазоров в сопряжениях деталей цилиндра-поршневой группы (ЦПГ) и кривошипно-шатунного механизма, качество изготовления, степень приработки и материалы деталей движения, параметры смазочной систем и рабочего процесса, конструкция клапанного механизма и уплотнений турбокомпрессора [3].

На первом этапе исследований была поставлена задача определить, как влияет сокращение угара на старение масла в дизеле и его техническое состояние – износ, нагаро- и лакообразование. Эксперимент осуществлялся в соответствии с ОСТ 24.060.09-79 на дизеле 2Ч 10,5/13:  $P_{ен} = 15$  кВт;  $n = 25$  с<sup>-1</sup>;  $G_o = 8$  кг, масло М10В<sub>2</sub>С (ГОСТ 12337-84), топливо Л 0,2-62 (ГОСТ 305-82) этапами по 200 ч. Угар масла варьировался в пределах 0,3-5,0 г/(кВт·ч) изменением конструкции маслосъемных колец и их удельного давления на зеркало цилиндра.

Снижение угара с 5 до 1 г/(кВт·ч) благоприятно сказывается на скорости изнашивания  $I$  дизеля, которая по деталям ЦПГ уменьшилась в 2-5 раз. Более всего воздействие от понижения угара в этом диапазоне изменения  $g_y$  проявилось на маслосъемных кольцах, менее всего на цилиндрических втулках (рисунок 1). На участке угара 2-5 г/(кВт·ч)  $I$  хорошо коррелирует с концентрацией  $c_x$  нерастворимых продуктов (НРП) в конечных пробах масла (рисунок 2).

При снижении  $g_y$  от 1 до 0,3 г/(кВт·ч) скорость изнашивания всех деталей дизеля 2Ч 10,5/13 возросла в 3-8 раз. В большей мере воздействию фактора  $g_y$  подвержено верхнее компрессионное кольцо, меньше всего – цилиндрическая втулка. Состояние пар трения на этапах с угаром 0,3; 0,6 и 1 г/(кВт·ч) указывает на наличие натиров и высокую вероятность наволакивания металла с возможностью задира. Ухудшение состояния масла при угаре менее 1 г/(кВт·ч) не только сказывается на увеличении изнашивания деталей дизеля, но и проявляется в интенсификации нагаро- и лакообразования. Эта тенденция особо ярко выражена в потере подвижности  $\Pi_k$  поршневых колец (см. рисунок 1).

Тяжелые условия работы трибосопряжений при низком угаре обусловлены недостаточным поступлением смазки в пары трения. Менее интенсивный маслосбор между нижней и верхней частью цилиндра через зону ЦПГ приводит к выгоранию масляной пленки в зоне ВМТ. Скорость загрязнения масла НРП при увеличении  $g_y$  с 0,3 до 1 г/(кВт·ч) растет медленнее, чем угар, поэтому  $c_x$  падает. В то время как на участке  $g_y = 1-5$  г/(кВт·ч) концентрация НРП увеличивается. Это вызвано опережающим ростом скорости загрязнения по мере увеличения угара [1].

Степень окисления масла СО на всем диапазоне увеличения угара растет, что указывает на зависимость глубины старения масла от  $g_y$ . Эту же тенденцию подтверждают зависимость кислотности  $K$  от угара (см. рисунок 2). Степень окисления масла определяли через отношение интегральной интенсивности поглощения карбонилсодержащих соединений –

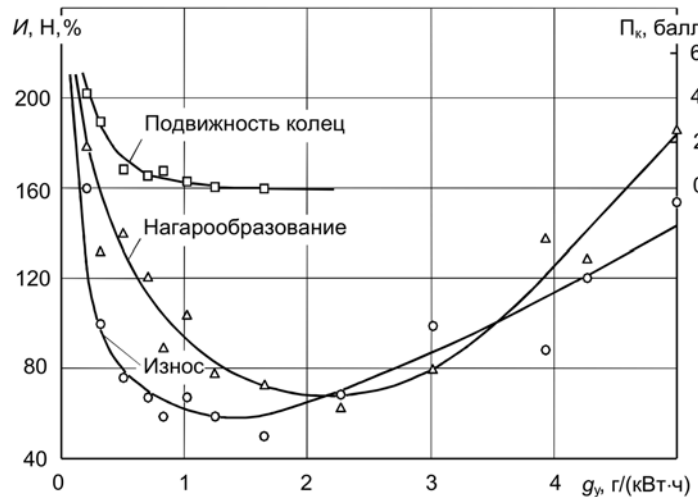


Рисунок 1 – Влияние угара масла на состояние дизеля 2Ч 10,5/13



Рисунок 2 – Старение масла в дизеле 2Ч 10,5/13 в зависимости от его угара

$c=0$  к группе –  $c=c$  – ароматических ядер. Кислотно-основные свойства находили по ГОСТ 11362-76.

Несколько иначе протекает кинетика старения по показателю смолообразования  $См$ . Зависимость  $См(g_y)$  экспоненциальная. Концентрация смол в масле самая высокая при нижнем уровне угара. С увеличением  $g_y$  показатель  $См$  падает со стабилизацией содержания смол на уровне 4-5% при угаре более 4 г/(кВт·ч). Интенсификация нагаро- и лакообразования, особенно в нижней части поршня, наблюдается при малых угарах. Забивание отложениями дренажных отверстий маслосъемных колец и интенсивное лакообразование на юбке поршня характерно для участка  $g_y = 0,3-0,8$  г/(кВт·ч) (см. рисунок 1).

Анализ результатов испытаний позволяет заключить, что угар масла существенным образом влияет на износ и нагары деталей ЦПГ [4]. Выявлено, что зависимость  $c_x(g_y)$  имеет сложную конфигурацию. В диапазоне  $g_y = 0,5-2$  г/(кВт·ч) создаются самые благоприятные условия для маслообмена в ЦПГ, при котором загрязнение масла нерастворимыми продуктами минимально.

В указанном диапазоне угара моторные и физико-химические свойства масла самые благоприятные для достижения высокого его срока службы [5, 6]. Угар масла выше 3 г/(кВт·ч) сопровождается интенсификацией старения ММ. В этих условиях масло М12В<sub>2</sub>С не может быть долгорботающим.

В диапазоне угара 0,3-0,8 г/(кВт·ч) термоокислительная способность масла М10В<sub>2</sub>С недостаточна для обеспечения работоспособности дизеля 2Ч 10,5/3 в течение длительного времени. При таком угаре эксплуатация дизеля может быть рекомендована на масле М10Г<sub>2</sub>(цс) (ГОСТ 12337-84). Работа дизеля с угаром ММ ниже 0,5 г/(кВт·ч) нерациональна, так как сопряжена с низкой надежностью его функционирования, повышенным на 3-5 г/(кВт·ч) расходом топлива из-за высоких потерь на трение [7].

Минимальный угар масла в эксплуатации, при котором допустима работа дизеля, и условия перегиба функции  $I(g_y)$  – индивидуальны. Они зависят от форсировки дизеля, применяемых материалов и покрытий, качества рекомендованных к использованию ММ. Специальным экспериментом доказано, что минимально допустимый угар для дизелей (разделительная линия зон А и В на рисунке 3) зависит от температурных условий в верхней части ЦПГ. При температурах поршня в районе первого компрессионного кольца до 180°С  $g_{ymin}$  может быть 0,5-0,7 г/(кВт·ч). При температуре втулки 180-230°С нижний предел угара соответствует 0,7-1 г/(кВт·ч). Более жесткие условия смазки характерны для дизелей с высоким наддувом. В этом случае  $g_{ymin}$  должно составлять 1-1,2 г/(кВт·ч). Зона В и С благоприятного угара для большинства дизелей находится в диапазоне 1-3 г/(кВт·ч). В этих условиях маслообмен, связанный с доливом масла, тормозит старение ММ.

Исследование зависимости относительной интенсивности (скорости) старения  $\bar{a}$  масла по различным направлениям от удельного угара масла показало, что на участке 0,5-3 г/(кВт·ч) она имеет форму параболы, а при более высоком угаре – линейной функции (см. рисунок 3). Величина  $\bar{a}$  выражена относительно скорости старения при  $g_y = 2$  г/(кВт·ч). Для практического использования в диапазоне удельного угара 1-5 г/(кВт·ч) зависимость удовлетворительно аппроксимируется полиномом второй степени

$$\bar{a}_i = 0,245g_y^2 - 0,265g_y + 0,59.$$

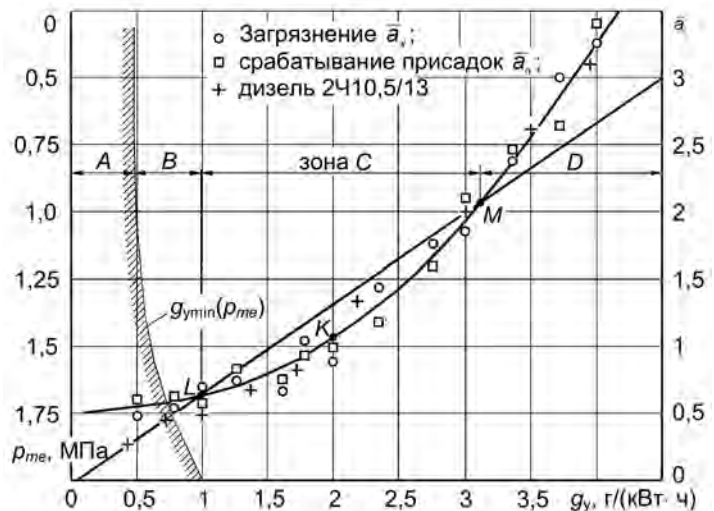


Рисунок 3 – Влияние угара масла в дизеле на интенсивность его старения



Точка  $K$  в функции  $\bar{a}_i(g_y)$  характеризует угар, выше которого увеличенный маслообмен при его компенсации доливом свежего ММ не способен понизить максимальную концентрацию в масле НРП или вызвать стабилизацию содержания присадок в активной форме на более высоком уровне. Это можно объяснить тем, что при повышении угара от 2 до 5 г/(кВт·ч) скорость старения масла растет интенсивнее увеличения  $g_y$ .

Правее точки  $L$ , вплоть до  $K$ , находится зона, благоприятная для маслообмена. Повышение угара от 0,5 до 2 г/(кВт·ч) способствует улучшению состояния масла, как по загрязнению, так и по срабатыванию присадок. Таким образом, на участке  $L-M$  работа дизеля будет характеризоваться лучшим состоянием масла по многим показателям старения по сравнению  $a_x$ , и  $\bar{a}_n$  при угарах выше 3,2 г/(кВт·ч).

Варьирование угаром ММ позволило выделить зону  $A$  – угар, при котором возможно нарушение нормальной работы ЦПГ. Зона  $B$  характеризуется улучшением состояния масла и смазки трибосопряжений ЦПГ дизеля при росте угара в сравнении с износом и нагарообразованием при  $g_y = 0,5$  г/(кВт·ч). По большинству показателей улучшение продолжается до угара 2 г/(кВт·ч) (точка  $K$ ).

Зона  $C$  наиболее рациональна по угару для эксплуатации большинства ДВС. При  $g_y = 1-3$  г/(кВт·ч) создаются самые благоприятные условия для увеличения срока службы масла с сохранением ресурсных показателей двигателей [2]. При угаре выше 3,2 г/(кВт·ч) (зона  $D$ ) увеличенный маслообмен не улучшает состояния масла, что приводит к более частой его смене, чем при работе дизеля в зоне  $C$ . Нагарообразование и износ деталей ЦПГ при работе дизеля в зоне  $D$  увеличиваются.

Зафиксированная в проведенном исследовании картина влияния угара масла на его старение и состояние малоразмерного дизеля 2Ч 10,5/13 характерна и для других двигателей без наддува [8]. Форсировка дизеля и применение топлив более низкого качества, чем дизельное, может смещать координаты точек  $L, K, M$  (см. рисунок 3). Однако обнаруженная тенденция по влиянию  $g_y$  на  $I$  и  $\bar{a}_i$  сохраняются. В работах [1, 5] показаны значения оптимальных угаров для дизелей с разным средним эффективным давлением  $p_{mi}$ , при котором создаются самые благоприятные условия для эффективного маслоиспользования. Ограничения по минимальному угару, приведенному на рисунке 1, подтверждены экспериментом в судовых дизелях разной форсировки.

В дальнейших исследованиях предстоит рассмотреть влияние различных факторов на угар и стабилизацию расхода ММ при работе дизелей на перспективных нефтепродуктах, определить наиболее выгодные сроки службы масел при использовании дизельного и низкосортных топлив. Исследованию должны подвергнуться судовые влагостойкие унифицированные масла, основными компонентами которых являются многофункциональные присадки МАСК и ПМС.

**Выводы:**

1 В результате моделирования получена зависимость интенсивности старения ММ по загрязнению НРП и срабатыванию присадок от угара, при котором содержание нерастворимых загрязнений и присадок в масле стабилизируется соответственно на самых благоприятных уровнях. Опровергается мнение, что увеличенный маслообмен при компенсации угара доливом свежего масла улучшает состояние масла. Установлено, что за пределами  $g_y = 1-3$  г/(кВт·ч) состояние ММ ухудшается. Вызвано это тем, что при повышении  $g_y$  более 2 г/(кВт·ч) приращение интенсивности старения масла опережает рост угара.

2 Установлен угар масла, когда функционирование ДВС сопровождается лучшим состоянием ММ (по содержанию в нем продуктов старения) и дизеля (по скорости изнашивания деталей ЦПГ и нагаро- и лакообразования на поршнях). Ниже 0,5 г/(кВт·ч) угар масла уменьшать не рекомендуется из-за масляного голодания трибосопряжения «верхнее компрессионное кольцо - цилиндровая втулка» и возможных задиров в этой паре трения. Угар выше 3 г/(кВт·ч) увеличивает общий расход масла, так как не способствует улучшению его состояния и, следовательно, удлинению срока службы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Кича, Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин. - Владивосток : Изд-во Мор.

1 Kicha G.P., Perminov B.N., Nadezhkin A.V., Resource-conserving oil consuming in marine diesels [Resursosberegayushchee masloispol'zovanie v sudovyykh dizelyakh]. Vladivostok: Maritime St. Univ. Publ.

гос. ун-та, 2011. -372 с.

2 Кича, Г.П. Комплексное системное решение проблемы ресурсосберегающего маслоиспользования в судовых дизелях / Г.П. Кича, А.В. Надежкин, С.В. Глушков // -Морские интеллектуальные технологии. -2016. -№3 (33). -Т.1. -С. 118-126.

3 Кича, Г.П. Влияние очистки масел на их расход в дизельных ДВС / Г.П. Кича // -Химия и технология топлив и масел. -1986. -№8. -С. 22-24.

4 Кича, Г.П. Имитационное моделирование смазки трибосопряжений и изнашивания основных деталей ДВС / Г.П. Кича, А.В. Надежкин, Б.Н. Перминов // -Транспортное дело России. -2004. -Сп. №2. -С. 51-53.

5 Кича, Г.П. Возможность увеличения срока службы моторного масла в судовых дизелях типа ЧН 18/22 / Г.П. Кича, П.П. Кича, Л.А. Семенов // -Науч. проб. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2017. -№1-2. -С. 112-116.

6 Кича, Г.П. Увеличение срока службы моторного масла в судовых тронковых дизелях / Г.П. Кича, Г.А. Гаук, В.В. Тарасов // Исследования по вопросам повышения эффективности судостроения и судоремонта: сб. науч. тр. -Владивосток: Изд-во Дальневост. Гос. Техн. Унив., 2009. -Вып. 47. -С. 89-97.

7 Кича, Г.П. Экономичная эксплуатация дизелей / Г.П. Кича // -Морской флот. -1984. -№11. -С. 47-49.

8 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.

2011. 372 p.

2 Kicha G.P., Nadezhkin A.V., Glushkov S.V., Comprehensive solution of resource-conserving oil consuming in marine diesels [Kompleksnoe sistemnoe reshenie problemy resursosberegayushchego masloispol'zovaniya v sudovykh dizelyakh]. *Morskije intellektual'nye tekhnologii*. 2016. No. 3 (33). Vol. 1. pp. 118-126.

3 Kicha G.P., Effect of oil purification on its consumption in diesel engines [Vliyaniye ochistki masel na ikh raskhod v dizel'nykh DVS]. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel*. 1986. No. 8. pp. 22-24.

4 Kicha G.P., Nadezhkin A.V., Perminov B.N., Simulation of tribological contacts lubrication and wear of the main engine parts [Imitatsionnoe modelirovaniye smazki tribosopryazheniy i iznashivaniya osnovnykh detaley DVS]. *Transportnoe delo Rossii*. 2004. Spec. Vol. 2. pp. 51-53.

5 Kicha G.P., Kicha P.P., Semenyuk L.A., The possibility of extending the service life of engine oil in marine diesel engines type ЧН 18/22 [Vozmozhnost' uvelicheniya sroka sluzhby motornogo masla v sudovykh dizelyakh tipa ChN 18/22]. *Nauchnyye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2017. No. 2. pp. 112-116.

6 Kicha G.P., Gauk G.A., Tarasov V.V., Extending the service life of engine oil in marine trunk-type diesels [Uvelichenie sroka sluzhby motornogo masla v sudovykh tronkovykh dizelyakh]. Studies on improving the efficiency of shipbuilding and ship repair [*Issledovaniya po voprosam povysheniya effektivnosti sudostroeniya i sudoremonta*]. Vladivostok: Far Eastern St. Techn. Univ. Publ. 2009. Vol. 47. pp. 89-97.

7 Kicha, G.P. Resource-saving diesel engines operation [Ekonomichnaya ekspluatatsiya dizeley]. *Marine fleet [Morskoy flot]*. 1984. No. 11. pp. 47-49.

8 Kicha G.P., Solving the issue of high efficiency oil purification in marine diesel engines: synopsis [*Reshenie problemy vysokoэффективной очистки моторного масла в судовых дизелях*]. Vladivostok: Far Eastern St. Maritime Acad. Publ. 1992. 46 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

*угар масла, расход масла, старения масла, маслоиспользование, оптимальный угар масла, судовой дизель*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

*Тарасов Максим Игоревич, аспирант МГУ им. адм. Г.И. Невельского*

*Кича Геннадий Петрович, докт. техн. наук, профессор МГУ им. адм. Г.И. Невельского*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

*690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, МГУ им. адм. Г.И. Невельского*

## КАК ИСПОЛЬЗОВАТЬ БРОСОВУЮ ТЕПЛОВУЮ ЭНЕРГИЮ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

**Б.О. Лебедев, И.С. Самойлов**

### HOW TO USER WASTE HEAT OF HEAT ENGINES

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

**Boris O. Lebedev** (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

**Il'ya S. Samoylov** (Graduate student of SSUWT)

**ABSTRACT:** Authors analyzed the main heat losses during the operation of internal combustion engines. The data of heat losses in marine diesel engines is presented. Heat recovery solutions on ships are proposed.

**Keywords:** *diesel engine, heat loss, recovery*

Проанализированы основные потери теплоты при эксплуатации двигателей внутреннего сгорания. Приведены данные тепловых потерь в судовых дизелях. Предложены варианты дополнительной утилизации теплоты на судах.

Сегодня в мире огромное количество тепловых двигателей, при помощи которых происходит преобразование тепловой энергии в механическую. Количество мощности вырабатываемой этими машинами на много превышает производительность ГЭС, производящих электроэнергию. На тепловых станциях, так же используют тепловые двигатели (паровые турбины), тоже касается и атомных электростанций.

Сегодня самыми экономичными тепловыми двигателями являются дизельные машины. КПД лучших из них достигает 50%. Оставшиеся 50% тепловой энергии, фактически выбрасываются в окружающую среду. Что касается остальных двигателей, эта величина еще более значительна. Так, суммарная мощность только автотранспорта в России составляет ≈3150 млн. кВт [1], а это значит, что еще большая цифра составляет выброс тепловой энер-

гии в окружающую нас среду. Ни для кого не секрет, что температура в любом городе всегда выше, чем за городом. Конечно, этому помогают и здания, тепловые сети и многое другое.

Остановимся на тепловых двигателях, а именно, на дизельных двигателях. На судах морского и речного флота основными тепловыми двигателями являются дизеля. Паротурбинные установки используются исключительно на морских крупнотоннажных судах, где требуются огромные мощности (супертанкера, контейнеровозы и т.п.). Что касается речного флота, то и здесь используются преимущественно дизельные двигатели.

Если посмотреть на тепловой баланс дизелей [2], они являются наиболее экономичными двигателями. Однако, и в этих машинах теряется значительное количество теплоты: около 25-40% через выпускной коллектор, 15-25% с охлаждающими средами (вода и масло).

Ниже представляется формула теплового баланса ДВС:

$$q_m = q_e + q_{\text{вод}} + q_{\text{вз}} + q_n + q_m + q_e,$$

где  $q_m$  – энергия полученная при сгорании топлива (100%);

$q_e$  – энергия перешедшая в механическую работу на фланце ДВС;

$q_{\text{вод}}$  – энергия уходящая в систему охлаждения;

$q_{\text{вз}}$  – энергия ушедшая с выхлопными газами;

$q_n$  – неучтенные потери;

$q_m$  – энергия уводимая маслом;

$q_e$  – энергия, отбираемая от воздуха воздухоохладителе турбоагнетателя.

В таблице можно видеть представлено распределение составляющих теплового баланса. По значениям из таблице видно, что основными составляющими тепловых потерь в двигателях являются: потери на охлаждение и с отходящими выхлопными газами. На эти составляющие и необходимо обратить особое внимание.

В настоящее время в теплоэнергетике достаточно широко используется глубокая утилизация отработавших, как они называются: печных, трубных и т.п. газов. На их анализе остановимся в других работах. Нас интересует использование тепловой энергии на судах морского и, особенно речного флота.

Основным способом утилизации тепловой энергии на судах речного флота до настоящего времени является установка различного типа утилизационных котлов, предназначенных для получения, либо горячей воды, либо пара для нужд судна. Для судовой энергетической установки (СЭУ) мощностью до 750 кВт все утилизированное тепло идет на отопление и нагрев воды. Когда мощность главной энергетической установки превышает 1000 кВт, то появляется избыточная энергия. Для нужд судна тепловой энергии требуется ограниченное количество. Встает вопрос, как использовать эти излишки? Фактически есть только два направления, это получение механической энергии и передача ее на движитель, что позволит уменьшить расход топлива на главные двигатели и преобразовывать тепловую энергию в, электрическую.

Для этого устанавливаются паровые турбины, которые могут передавать мощность на гребной вал либо приводят в действие электрогенераторы, что может позволить отключать вспомогательные двигатели, что приведет к значительному сокращению расхода топлива и масла. Для примера за навигацию один ДГР 150/750 на базе дизеля 6ЧН18/22 расходует около 150 т дизельного топлива. Если присоединить к этому экологическую составляющую, то можно сделать соответствующий вывод.

Достаточно проблематичным (конструктивно) использование тепловой энергии уходящей в систему охлаждения. Хотя имеются некоторые разработки, которые используются в передвижных электротепловых станциях различной мощности. Так предлагаемая станция ЭСА-300 может обеспечить дом в 4000 м<sup>2</sup> тепловой и электрической энергией. Паспортный КПД данной станции 94%. Правда у нас это вызывает некоторое сомнение. В данной станции утилизируется энергия, как выхлопных газов, так и системы охлаждения.

За последнее время современные технологии дают возможность рассматривать ис-

*Таблица – Тепловой баланс дизелей, %*

Потери	Тип		
	мало-оборотные	средне-оборотные	высоко-оборотные
$q_e$	45-50	40-45	35-40
$q_{\text{вз}}$	10-12	10-15	10-15
$q_{\text{вз}}$	27-33	30-35	32-40
$q_n$	1,5-2	1,5-2	1,5-2
$q_m$	4-5	4-6	5-7
$q_e$	7-8	7-8	8-10

пользование новых открытий. В мире, где есть излишки тепла, устанавливают различной конструкции термоэлектрические генераторы. Причем, в зависимости от количества энергии, соответственно и различной мощности.

Первые попытки установить такие генераторы были произведены в Волго-Каспийском регионе. Пока точных результатов этого эксперимента мы не имеем, но считаем, что это весьма перспективное направление для судов морского и речного флота.

Не надо сбрасывать со счетов и установку солнечных батарей, как аварийные и вспомогательные для привода в действие различных приборов малой мощности.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Морозов, В.А. Совершенствование эффективности и экологичности двигателей внутреннего сгорания. -Режим доступа: [http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_17\\_Morozov.pdf\\_4aadfebf3.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_17_Morozov.pdf_4aadfebf3.pdf). -05.12.2017  
 2 Возницкий, И.В. Судовые двигатели внутреннего сгорания / И.В. Возницкий, А.С. Пунда. -М.: Моркнига, 2010. -Т.2. -382 с.

**REFERENCES**

1 Morozov, V.A. Improvement the efficiency and ecological compatibility of internal combustion engines [Sovershenstvovanie effektivnosti i ekologichnosti dvigateley vnutrennego sgoraniya]. URL: [http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_17\\_Morozov.pdf\\_4aadfebf3.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_17_Morozov.pdf_4aadfebf3.pdf). - December 5, 2017  
 2 Voznitskiy I.V., Punda A.S. Internal combustion marine engines [Sudovye dvigateli vnutrennego sgoraniya]. Moscow: Morkniga Publ. 2010. Vol. 2. 382 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *дизель, потери теплоты, утилизация*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Лебедев Борис Олегович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»*  
*Самойлов Илья Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

**МЕТОД РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ УГЛОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ СУДОВОГО МАЛОБОРОТНОГО ДИЗЕЛЯ**

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского»

**В.Н. Кучеров**

**METHOD OF CALCULATION OF ANGLE FACTORS IN THE COMBUSTION CHAMBER OF LOW-SPEED DIESEL ENGINES**  
 Maritime State University named after admiral G.I.Nevelskoi (MSU named after adm. G.I.Nevelskoi) 50a, Verkhneportovaya St., Vladivostok, 690059, Russia  
**Vladimir N. Kucherov** (Ph.D. of Engineering Sciences, Prof. of MSU named after adm. G.I.Nevelskoi)

**ABSTRACT:** Authors present a method of calculating the angle factor in the combustion chamber of the low-speed marine diesel. Spherical recess in piston crown can be approximated with docked stepped surfaces having «classical» geometry.

**Keywords:** *diesel engine, combustion chamber, angle factors*

Представлен метод расчета геометрических угловых коэффициентов в камере сгорания судового малооборотного дизеля. Показано, что сферическая выемка в поршне может быть аппроксимирована состыкованными ступенчатыми поверхностями имеющими «классическую» геометрию.

Форсирование судовых дизелей по параметрам рабочего процесса приводит к значительному увеличению температурного состояния деталей, образующих камеру сгорания (КС) [1-3]. В мощных средне- и малооборотных судовых дизелях для улучшения температурного состояния деталей цилиндропоршневой группы используются водяное охлаждение вместо масляного и целый ряд конструктивных мероприятий [4]. Однако расчетное определение температур и тепловых потоков, в том числе и радиационных на поверхностях деталей КС (крышки цилиндра, поршня и втулки цилиндра) на стадии проектирования вызывает значительные трудности. Это увеличивает сроки доводки новых образцов судовых дизелей и подтверждает актуальность разработки новых и совершенствование уже существующих математических моделей (ММ) с целью более достоверного определения теплового состояния деталей, образующих КС [5].

В предлагаемых ММ [6, 7] для расчета локальных радиационных тепловых потоков используется зональный метод. При этом обобщенные угловые коэффициенты излучения  $\psi(M_v, F_k)$  в указанном методе представлены как произведение геометрических угловых коэффициентов и параметра Бугера [7-9]

$$\psi(M_v, F_k) = \varphi(M_v, F_k) \exp(-kL), \tag{1}$$

где  $\psi(M_v, F_k)$  – обобщенный угловой коэффициент излучения;

$\varphi(M_v, F_k)$  – геометрический угловой коэффициент излучения;

$k$  – коэффициент ослабления потока излучения;

$L$  – эффективная длина пути луча.

Геометрические угловые коэффициенты излучения для системы поверхностей и тел «классической» конфигурации: плоскости, сегменты, цилиндры, сферы и т.п. могут быть определены по известным из справочной литературы [8-10] зависимостям. Однако в случае реальной КС судового дизеля приходится иметь дело с системой поверхностей, значительно отличающихся от «классической». Например, в судовых малооборотных дизелях фирмы MAN B&W Diesel A/S поверхность поршня имеет сферическую выемку и требуется разработка специального расчетного метода для определения геометрических коэффициентов излучения.

Как известно [8], геометрический угловой коэффициент определяет условия теплообмена излучением между поверхностями  $F_1$  и  $F_2$  двух тел конечных размеров. Он характеризует долю полусферического потока энергии, испускаемого одной и падающего на другую поверхность тел конечных размеров. Угловой коэффициент представляет собой чисто геометрическую характеристику формы, размеров и взаимного расположения двух тел, находящихся в состоянии теплообмена излучением друг с другом и определяется по зависимостям:

$$\varphi_{12} = \frac{1}{F_1} \int_{F_1} \int_{F_2} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{\pi r^2} dF_1 dF_2 ; \quad (2)$$

$$\varphi_{21} = \frac{1}{F_2} \int_{F_1} \int_{F_2} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{\pi r^2} dF_1 dF_2 , \quad (3)$$

где  $r$  – расстояние между центрами элементарных площадок  $dF_1$  и  $dF_2$  на поверхностях  $F_1$  и  $F_2$ ;

$\beta_1, \beta_2$  – соответствующие углы между нормалью к одной площадке и направлением на другую.

Для расчета геометрических угловых коэффициентов излучения в КС судового малооборотного дизеля автором предлагается схема, представленная на рисунке 1. Из него видно, что реальная поверхность сферической выемки в поршне заменяется ступенчатой структурой, состоящей из двух вертикальных цилиндрических поверхностей  $F_1$  и  $F_2$ , поверхностей двух горизонтальных плоских колец  $F_3$  и  $F_4$  и поверхности горизонтального плоского диска диаметром  $D_2$ .

Форма пламени в КС, показанной на рисунке 1, может быть принята в виде сферы. Естественно, что в процессе работы дизеля объем этой сферы (пламени) изменяется. Однако расчетное определение объема и формы пламени в каждый момент времени рабочего цикла представляет собой весьма трудную и еще пока нерешенную проблему [11]. В то же время из теории теплообмена излучением [8-10] известно, что геометрический угловой коэффициент от сферы на плоскость, для нашего случая, это на поверхность крышки цилиндра с диаметром  $D$  и на поверхность плоского диска на поршне  $D_2$  не зависит от радиуса сферы и определяется по зависимости

$$\varphi_{12} = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + R_2^2}} \right) ; \quad (4)$$

$$R_2 = r_2/h,$$

где  $r_2$  – радиус крышки цилиндра или радиус плоского диска на поверхности поршня;

$h$  – текущее расстояние от точечного источника излучения (пламени) до крышки или поршня.

Для расчета геометрических угловых коэффициентов излучения от пламени на поверхности колец  $F_3$  и  $F_4$  (см. рисунок 1) можно воспользоваться уравнением, приведенным в [8] для сферы радиусом  $r_1$  и элементарного кольца круга радиусом  $r_2$ . Ширина кольца  $dr_2$

$$d\varphi_{F_1, dF_2} = \frac{R_2}{2\sqrt{(1+R_2^2)^3}} dR_2; \quad (5)$$

где  $R_2 = r_2/h$ ;  $dR_2 = dr_2/h$ .

Как видно из уравнения (5) геометрический угловой коэффициент излучения от пламени (сферы радиусом  $r_1$ ) на поверхность элементарного кольца также не зависит от  $r_1$ . Геометрический угловой коэффициент излучения от пламени на поверхность втулки цилиндра  $\varphi_{1в}$  может быть определен из условия замкнутости системы поверхностей, представленных на рисунке 1

$$\varphi_{1в} = 1 - (\varphi_{1кр} + \varphi_{1п}), \quad (6)$$

где  $\varphi_{1кр}$  – геометрический угловой коэффициент излучения от пламени на крышку цилиндра;

$\varphi_{1п}$  – геометрический угловой коэффициент излучения от пламени на поверхность поршня.

Следует заметить, что геометрический угловой коэффициент  $\varphi_{1п}$  представляет собой сумму угловых коэффициентов излучения от пламени на поверхности  $F_1, F_2, F_3, F_4$  и поверхность диска диаметром  $D_2$ .

Таким образом, геометрические угловые коэффициенты излучения от пламени на все поверхности, образующие КС определены. В качестве примера на рисунке 2 показан результат расчета углового коэффициента излучения для крышки цилиндра  $\varphi_{1кр}$  судового малооборотного дизеля с диаметром цилиндра 700 мм и ходом поршня 1200 мм. Из него видно, что  $\varphi_{1кр}$  весьма значительно изменяется по углу поворота коленчатого вала и достигает своего максимального значения в период первой фазы сгорания. Экспериментальные данные [6] показывают, что между изменением геометрических угловых коэффициентов излучения и изменением локальных радиационных тепловых потоков имеется тесная связь. Это и другие положения, вытекающие из локального характера распределения потоков излучения в КС судовых малооборотных дизелей необходимо учитывать при проектировании и доводке новых образцов с целью правильной оценки уровня теплонапряженности деталей цилиндропоршневой группы.

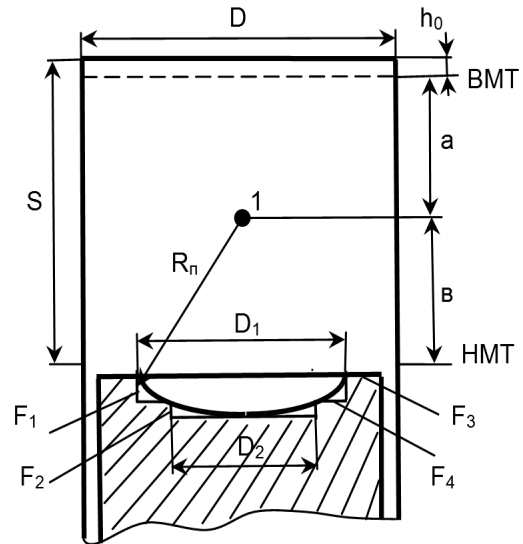


Рисунок 1 – Схема для расчета геометрических угловых коэффициентов излучения в КС судового малооборотного дизеля: ВМТ-верхняя мертвая точка; НМТ-нижняя мертвая точка; D-диаметр цилиндра; S-ход поршня;  $h_0$ -расстояние от кромки поршня до крышки цилиндра при его нахождении в ВМТ;  $D_1$ -диаметр сферической выемки в поршне;  $R_p$ -радиус пламени в КС;  $a, b$ -текущие расстояния точечного источника излучения (пламени) 1 от крышки цилиндра и поршня

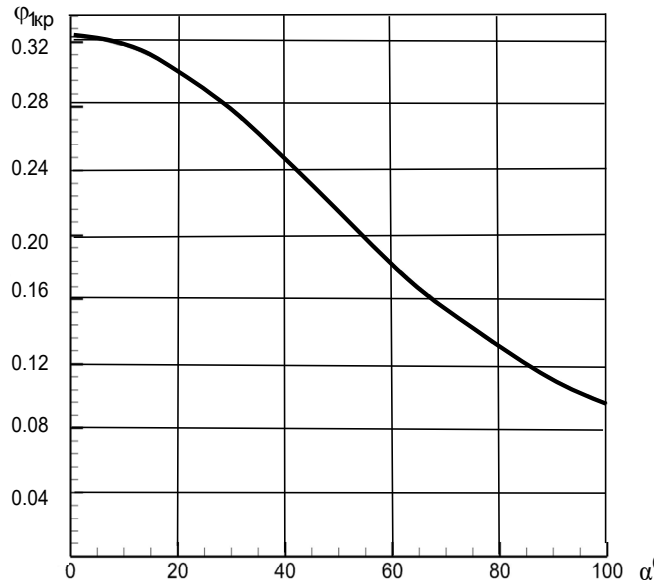


Рисунок 2 – Зависимость углового коэффициента излучения от пламени на поверхность крышки цилиндра: судовой дизель размерности  $D/S = 70/120$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Овсянников, М.К., Тепловая напряженность судовых дизелей / М.К. Овсянников, Г.А. Давыдов. -Л.: Судостроение, 1975. -256 с.  
 2 Мирошников, В.В. Оптимизация конструкций теплонапряженных деталей дизелей / В.В. Мирошников, Н.А. Иващенко, С.М. Шелков и др. -М.: Машиностроение, 1983. -112 с.  
 3 Шукин, Г.С. Эксплуатация цилиндропоршневой группы судовых дизелей / Г.С. Шукин, В.Н. Кучеров.- М.: В/О «Мортехинформреклама», 1985. -60 с.  
 4 Овсянников, М.К. Согласование условия прочности в конструкционных расчетах деталей ЦПГ ДВС / М.К. Овсянников, Г.А. Давыдов, А.Н. Калинин, А.П. Гриценко // -Двигателестроение. -1981. -№4. -С. 20-23.  
 5 Руднев, Б.И. Определение угловых коэффициентов излучения в камере сгорания судового дизеля / Б.И. Руднев, О.В. Повалякина // Фундаментальные и прикладные вопросы естествознания: мат-лы 60-й Всерос. науч. конф. -Владивосток: Изд-во Тихоокеанского Высш. Военно-мор. училища, 2017. -Т.3. -С. 166-170.  
 6 Петриченко, Р.М. Элементы автоматизированного проектирования ДВС: Алгоритмы прикладных программ / Р.М. Петриченко, С.А. Батулин, Ю.Н. Исаков и др. -Л.: Машиностроение, 1990. -328 с.  
 7 Руднев, Б.И. Математическое моделирование радиационного теплообмена в камере сгорания судового дизеля / Б.И. Руднев, О.В. Повалякина // -Тепловые процессы в технике. -2017. -Т.9. -№9. -С. 422-425.  
 8 Блох, А.Г. Теплообмен излучением. Справочник / А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков. -М.: Энергоатомиздат, 1991. -432 с.  
 9 Зигель, Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Дж. Хауэлл. -М.: Мир, 1975. -934 с.  
 10 Спэрроу, Э.М. Теплообмен излучением. Пер. с англ. / Э.М. Спэрроу, Р.Д. Сесс. -Л.: Энергия, 1971. -296 с.  
 11 Кавтарадзе, Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы / Р.З. Кавтарадзе. -М.: Изд-во Моск. Гос. Техн. Унив. им. Н.Э. Баумана, 2008. -720 с.

1 Ovsyannikov M.K., Davydov G.A., Thermal stress of marine diesel engines [*Teplovaya napryazhennost' sudovykh dizeley*]. Leningrad: Sudostroenie Publ. 1975. 256 p.  
 2 Miroshnikov V.V., Ivashchenko N.A., Shelkov S.M., Optimization of designs of thermal stressed parts in diesel engines [*Optimizatsiya konstruktivnykh teplonapryazhennykh detaley dizeley*]. Moscow: Mashinostroenie Publ. 1983. 112 p.  
 3 Shchukin, G.S., Kuchеров V.N., Operation of the piston-cylinder unit of marine diesel engines [*Ekspluatatsiya tsilindroporshnevoy gruppy sudovykh dizeley*]. Moscow: Morteinformreklama Publ. 1985. 60 p.  
 4 Ovsyannikov M.K., Davydov G.A., Kalinichenko A.N., Gritsenko A.P., Alignment the condition of strength in engineering calculations of cylinder-piston group of internal combustion engine [*Soglasovanie usloviya prochnosti v konstruktivnykh raschetakh detaley TsPG DVS*]. *Dvigatelistroenie*. 1981. No. 4. pp. 20-23.  
 5 Rudnev B.I., Povalikhina O.V., Determination of angle factors in the combustion chamber of marine diesel engine [*Opreделение uglovykh koeffitsientov izlucheniya v kamere sgoraniya sudovogo dizelya*]. Fundamental and applied issues of natural science [*Fundamental'nye i prikladnye voprosy estestvoznaniya*]. Vladivostok: Pacific Higher Naval Sch. Publ, 2017. pp. 166-170.  
 6 Petrichenko R.M., Baturin S.A., Isakov Yu.N., Elements of CAD internal combustion engine design: Algorithms of application software [*Elementy avtomatizirovannogo proektirovaniya DVS: Algoritmy prikladnykh program*]. Leningrad: Mashinostroenie Publ. 1990. 328 p.  
 7 Rudnev B.I., Povalikhina O.V. Mathematical modeling of radiative heat transfer in the combustion chamber of a marine diesel engine [*Matematicheskoe modelirovaniye radiatsionnogo teploobmena v kamere sgoraniya sudovogo dizelya*]. *Teplovye protsessy v tekhnike*. 2017. Vol. 9. No. 9. pp. 422-425.  
 8 Blokh A.G., Zhuravlev Yu.A., Ryzhkov L.N., Radiation heat transfer [*Teploobmen izlucheniem. Spravochnik*]. Moscow: Energoatomizdat Publ. 1991. 432 p.  
 9 Howell J.R., Mengüç M.P., Siegel R. *Thermal Radiation Heat Transfer*. Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, USA, 2016. -1006 p. -ISBN: 1466593261  
 10 Sparrow E.M., Cess R.D., *Radiation Heat Transfer*, Brooks / Cole Publishing Company, Monterey, Calif., 1966.  
 11 Kavtaradze, R.Z. Reciprocating engine theory [*Teoriya porshnevnykh dvigateley*]. Moscow: Moscow St. Techn. Univ. Publ. 2008. 720 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** дизельный двигатель, камера сгорания, геометрические угловые коэффициенты  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Кучеров Владимир Никанорович, канд. техн. наук, профессор МГУ им. адм. Г.И. Невельского  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, МГУ им. адм. Г.И. Невельского

**МЕТОДИЧЕСКОЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

**ФГУП «Сибирский государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт метрологии»**

**Г.В. Шувалов, Т.В. Васильева**

**PROCEDURAL GUIDELINES AND TECHNICAL FACILITIES OF PROXIMATE ANALYSIS OF PETROLEUM PRODUCTS PARAMETERS**

Siberian State Scientific Research Institute of Metrology (SNIIM) 4, Prospekt Dimitrova, Novosibirsk, 630004, Russia  
**Gennadiy V. Shuvalov** (Head of SNIIM)  
**Tat'yana V. Vasil'eva** (Engineer of SNIIM)

**ABSTRACT:** The article shows the results of the evaluation of procedural guidelines and technical facilities for proximate analysis of certain parameters of petroleum products.

**Keywords:** petroleum products, proximate analysis, national standard

Приведены результаты анализа методического и технического обеспечения экспресс-анализа некоторых параметров нефтепродуктов.

В связи с тем, что качество нефтепродуктов, поступающих на топливный рынок, в последнее время нередко отличается от стандартного, государственные органы принимают меры по недопущению некачественного или фальсифицированного топлива в оборот.



При Государственной комиссии по противодействию незаконному обороту промышленной продукции создана межведомственная отраслевая рабочая группа по противодействию незаконному обороту продукции нефтяной промышленности под руководством Руководителя Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (далее – Росстандарта) А.В. Абрамова.

Эта рабочая группа призвана обеспечить:

- создание действенного механизма реализации мер противодействия незаконному обороту некачественных нефтепродуктов;
- подготовку необходимой нормативно-правовой базы в области производства и реализации продукции нефтяной промышленности, направленной на обеспечение внутреннего российского рынка качественными и соответствующими установленным требованиям сырьем и продукцией;
- выработку скоординированных мер и подходов, которые позволят решить проблему противоправной деятельности недобросовестных участников нефтяного рынка, включая нелегальные мини-нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ), недобросовестные базы нефтепродуктообеспечения, автозаправочные станции (АЗС) и др.;
- сокращение и исключение из оборота суррогатного топлива;
- предотвращение случаев ввоза на территорию Российской Федерации и дальнейшей реализации топлива несоответствующих экологических классов.

В 2015-2017 гг. Росстандартом была проведена большая работа по проверке качества топлив, поставляемых нефтеперерабатывающими и нефтеснабжающими организациями.

Было проверено около 30 тысяч автозаправочных станций, более 2 тысяч нефтебаз, около 240 мини-нефтеперерабатывающих заводов и 33 крупных нефтеперерабатывающих заводов.

По результатам проверок в таблице представлен уровень нарушений среди АЗС в 2015-2017 гг.

*Таблица – Нарушения качества топлива среди АЗС*

Год	2015 г.	2016 г.	2017 г. (январь-май)
Проверено АЗС, шт.	3702	1536	103
Выявлены нарушения на АЗС, шт.	1573 (42,5%)	274 (18%)	41 (40%)
Количество выявленных нарушений по физико-химическим показателям топлива, шт.	717 (20%)	184 (12%)	22 (21%)

Как видно из таблицы количество выявленных нарушений по отклонению физико-химических показателей топлива от установленных нормативно-правовыми документами, в первую очередь техническим регламентом «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту», значительно.

В связи с этим, одним из направлений деятельности Росстандарта является подготовка необходимой нормативной и технической базы в области контроля качества сырья и продукции нефтяной промышленности.

Так в области совершенствования нормативной базы в 2016 году были разработаны и приняты для применения следующие предварительные национальные стандарты (ПНСТ) Российской Федерации:

- ПНСТ 154-2016 «Нефтепродукты. Восстановление показателей качества»;
- ПНСТ 155-2016 «Нефтепродукты. Применение методов испытаний для подтверждения качества»;
- ПНСТ 156-2016 «Нефтепродукты. Контроль качества при приемке на хранение».

Основным отличием этих стандартов следует считать то, что в них впервые в практику контроля качества нефтепродуктов введено понятие экспресс-методов испытаний и условия применения этих методов для подтверждения качества нефтепродуктов.

Так в ПНСТ 155-2016 экспресс-метод испытаний определен как метод, не регламентированный документом по стандартизации, но позволяющий в короткие сроки провести измерение значений показателя нефтепродукта с установленным уровнем точности с использованием стационарной и/или мобильной (передвижной) лаборатории.

Теперь допускается применять экспресс-методы для получения оперативной информации о качестве нефтепродуктов при приемо-сдаточных испытаниях, при этом применение

экспресс-методов должно быть согласовано между поставщиком и потребителем.

Испытания с использованием экспресс-методов для подтверждения качества нефтепродукта проводят в соответствии с требованиями ПНСТ 155-2016.

В испытательных лабораториях, использующих экспресс-методы должна быть разработана и внедрена система подтверждения (верификации) результатов испытаний, получаемых экспресс-методами. Кроме того, должны быть разработаны документы по стандартизации на экспресс-методы, в которых должны быть установлены: периодичность поверки аппаратуры, порядок подтверждения достоверности результатов, получаемых экспресс-методами, порядок действий при выявлении несоответствующей работы оборудования или получения недостоверных результатов испытаний.

Результаты испытаний экспресс-методами оформляют в виде протокола испытаний.

Результаты испытаний нефтепродуктов, полученные экспресс-методами, можно использовать только для принятия оперативного решения о дальнейшем применении нефтепродукта. При выявлении экспресс-методом некондиционности нефтепродукта, следует провести повторные испытания по проверяемому показателю с применением стандартизованных методов испытаний. Не допускается использовать экспресс-методы для подтверждения качества продукции, паспортизации и при разногласиях в оценке качества нефтепродукта.

Экспресс-анализаторы, используемые для проведения испытаний, должны обеспечивать необходимую погрешность (точность) измерения определяемого показателя, а также должны быть поверены или метрологически аттестованы.

Для решения задач экспресс-контроля нефтепродуктов в Сибирском научно-исследовательском институте метрологии (ФГУП «СНИИМ») были разработаны экспресс-анализаторы качества нефтепродуктов для определения механических примесей и содержания воды [1].

Для определения содержания механических примесей в анализаторе СИМ-12 использован оптический метод. Принцип действия прибора основан на регистрации рассеянного оптического излучения инфракрасного диапазона на механических примесях, находящихся в нефтепродукте. Конструкция анализатора СИМ-12 приведена на рисунке 1.

Для определения содержания воды в нефтепродуктах разработан экспресс-анализатор СИМ-4, предназначенный для измерения массовой доли воды в дизельном топливе, моторных и автотракторных маслах при оперативном контроле их качества. Метод определения массовой доли воды в нефтепродуктах соответствует ГОСТ 14203-69 «Нефть и нефтепродукты. Диэлькометрический метод определения влажности.

Принцип действия экспресс-анализатора основан на емкостном методе измерения относительной диэлектрической проницаемости нефтепродуктов. Диапазон измерений массовой доли воды в нефтепродуктах от 0,01 до 2,00%, пределы допускаемой относительной погрешности измерения массовой доли воды в нефтепродуктах  $\pm 10\%$ . Масса анализатора составляет не более 1,8 кг, габаритные размеры измерительного прибора – 210×200×65 мм, что позволяет эффективно использовать экспресс-анализатор в проверочных мероприятиях на АЗС.

Расчет процентного содержания воды в контролируемых нефтепродуктах в зависимости от диэлектрической проницаемости экспресс-анализатор выполняет автоматически и результат измерения индицируется на индикаторе в процентах и граммах на тонну. Внешний вид анализатора СИМ-4 представлен на рисунке 2.

Таким образом, принятые в 2016 году предварительные национальные стандарты



Рисунок 1 – Экспресс-анализатор механических примесей в нефтепродуктах СИМ-12



Рисунок 2 – Экспресс-анализатор содержания воды в нефтепродуктах СИМ-4

(ПНСТ) Российской Федерации для получения оперативной информации о качестве нефтепродуктов допускают применение экспресс-методов. Это позволяет оперативно определять качество нефтепродуктов непосредственно в местах реализации или применения нефтепродуктов.

Для практического применения экспресс-методов могут быть использованы созданные во ФГУП «СНИИМ» приборы экспресс-анализа некоторых параметров нефтепродуктов. Использование экспресс-методик испытаний приведет к повышению эффективности проверочных мероприятий качества нефтепродуктов и сокращение времени проведения проверок.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Шувалов, Г.В. Экспресс-анализ некоторых параметров нефтепродуктов при их использовании / Г.В. Шувалов, В.Г. Селятицкий, М.Г. Клековкина, Т.В. Васильева // -Науч. проб. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2015. -№1. -С. 114-116.

**REFERENCES**

1 Shuvalov G.V., Selyatitskiy V.G., Klekovkina M.G., Vasil'eva T.V., Proximate analysis of certain parameters of petroleum products when using them [Ekspress-analiz nekotorykh parametrov nefteproduktov pri ikh ispol'zovanii]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2015. No. 1.pp.114-116.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** нефтепродукты, экспресс-анализ, национальный стандарт  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, директор ФГУП «СНИИМ»  
Васильева Татьяна Владимировна, инженер ФГУП «СНИИМ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630004, г.Новосибирск, пр.Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»

---

## **МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

ФГУП «Сибирский государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт метрологии»

**Г.В. Шувалов**

**METROLOGICAL FACILITIES FOR PETROLEUM PRODUCTS FLASH POINT TEMPERATURE MEASUREMENTS**  
Siberian State Scientific Research Institute of Metrology (SNIIM) 4, Prospekt Dimitrova, Novosibirsk, 630004, Russia  
**Gennadiy V. Shuvalov** (Head of SNIIM)

---

**ABSTRACT:** The article shows the results of the evaluation of metrological facilities for petroleum products flash point temperature measurements.

**Keywords:** petroleum products, metrological facilities, flash point

Приведены результаты анализа метрологического обеспечения для измерения температуры вспышки нефтепродуктов при их использовании.

Согласно ГОСТ Р 8.820-2013 метрологическим обеспечением называется систематизированный, строго определенный набор средств и методов, направленных на получение измерительной информации, обладающей свойствами, необходимыми для выработки решений по приведению объекта управления в целевое состояние.

Под метрологическим обеспечением измерений понимается совокупность элементов и процессов, направленных на получение измерительной информации, обладающей свойствами, необходимыми и достаточными для выработки решений.

В данном определении установлен предмет метрологического обеспечения, а именно, измерения, которые выполняются на различных объектах (в технологических процессах, на предприятиях и прочее). Метрологическое обеспечение измерений состоит из элементов (эталоны, средства измерений, стандартные образцы и другие) и процессов (поверка, калибровка, аттестация и т.д.).

Температура вспышки нефтепродуктов является одним из важнейших физико-химических показателей топлив. Несмотря на то, что температура вспышки жидкости, в строгом смысле, не является константой физико-химических свойств вещества, так как ее величина в значительной степени зависит от некоторых факторов, этот показатель характеризует взрывопожароопасные свойства топлив.

Кроме того, температура вспышки позволяет косвенно судить о составе и качестве того или иного нефтепродукта, так как по ее значению определяют примеси легкоиспаряющихся компонентов в нефтепродукте. Таким образом, температура вспышки характеризует степень чистоты топлива, а также позволяет выявить фальсификаты в топливе.

Температура вспышки связана с другими термическими характеристиками нефтепро-

дукта, как, например, температура кипения, давление насыщенных паров и испаряемость. Однако для нефтепродуктов, представляющих собой в основном сложные углеводородные смеси, которые не имеют определенной температуры кипения, нельзя установить точную связь между температурой вспышки и температурой кипения или давлением насыщенных паров. На практике эта связь выражается в том, что с повышением температуры кипения повышается температура вспышки.

Определение величины температуры вспышки является обязательным параметром, который нормируется для различных видов топлив согласно техническому регламенту «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» (таблица 1).

*Таблица 1 – Определение температуры вспышки в различных топливах согласно техническому регламенту*

Вид исследуемого топлива	Вид проводимого анализа	Нормативно-методическая документация
Дизельное топливо	Определение температуры вспышки в закрытом тигле	ГОСТ Р ЕН ИСО 2719-2008 «Методы определения температуры вспышки в закрытом тигле Пенски-Мартенса» (метод, применяемый при возникновении спорных ситуаций) ГОСТ 6356-75 «Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле»
Топочный мазут	Определение температуры вспышки в открытом тигле	ГОСТ 4333-87 «Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле»
Топливо для реактивных двигателей	Определение температуры вспышки в закрытом тигле	ГОСТ 6356-75 «Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле»
Авиационный бензин	Определение температуры вспышки в закрытом тигле	ГОСТ Р ЕН ИСО 2719-2008 «Методы определения температуры вспышки в закрытом тигле Пенски-Мартенса» (метод, применяемый при возникновении спорных ситуаций) ГОСТ 6356-75 «Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле»

Согласно национальному стандарту ГОСТ Р ЕН ИСО 2719-2008 под температурой вспышки (flash point) понимают минимальную температуру, при которой происходит воспламенение паров образца от пламени в установленных условиях испытания при барометрическом давлении 101,3 кПа, при этом пламя распространяется по всей поверхности образца.

Для определения температуры вспышки существуют приборы закрытого и открытого типа. Метод измерения в закрытом тигле используется для моделирования поведения жидкостей в только что открытых сосудах, когда над поверхностью скапливаются пары горючих веществ. Метод закрытого тигля дает более точные и надежные результаты и менее чувствителен к лабораторным условиям. Метод открытого тигля моделирует возгорание жидкости в открытых сосудах или при случайном разливе и применяется для нефтепродуктов с низким давлением насыщенных паров, обычно для минеральных масел и остаточных нефтепродуктов. В приборе открытого типа температура вспышки одного и того же нефтепродукта на 10-30° С выше, чем в закрытом, за счет рассеивания части паров при диффузии в воздух.

Наиболее точные сведения по температуре вспышки можно получить только экспериментально, при этом необходимо иметь ввиду, что измеренная величина температуры вспышки будет зависеть от конструкции аппарата, с помощью которого проводится ее определение, а также от методики работы на этом аппарате.

В таблице 2 приведены основные методы определения температуры вспышки нефтепродуктов и их метрологические характеристики.

Ранее использовались и другие методы определения температуры вспышки нефтепродуктов в открытом тигле такие как, метод Маркуссона, Мура, де-Граафа, Крупна, которые на сегодняшний день не являются актуальными. Условия измерения температуры вспышки в этих приборах отличаются между собой размерами, формой и материалом тигля, а также способом нагрева.

В России традиционным методом измерения температуры вспышки в закрытом тигле является методы Пенски-Мартенса и Кливленда-Бренкена, вместе с тем становятся востребованы методы Тага и Абеля, обязательные для реактивного и дизельного топлив по неко-

торым международным и национальным спецификациям.

Из внешних факторов, не связанных с конструкцией аппарата, влияние на температуру вспышки оказывает не только атмосферное давление, но и другие факторы, так как вспышка паров представляет собой сложный процесс, особенно когда происходит от испаряющейся жидкости. Вспышка газовой смеси зависит от многих условий измерения: объем жидкости, расстояние до зажигающего пламени, скорость обмена наружного воздуха и образующихся паров, скорость испарения, а, следовательно, мощность нагревающего жидкость источника тепла, теплопроводность стенок сосуда, теплопроводность и вязкость жидкости, потеря сосудом тепла и т.д.

*Таблица 2 – Метрологические характеристики методов определения температуры вспышки*

Наименование метода	Тип тигля	Национальный стандарт	Диапазон измерения	Показатели точности
Метод Пенски-Мартенса	закрытый	ГОСТ Р ЕН ИСО 2719-2008 «Методы определения температуры вспышки в закрытом тигле Пенски-Мартенса»	–	Повторяемость 0,029 X °C Воспроизводимость 0,071 X °C здесь X – среднеарифметическое значение
Метод Абеля	закрытый	ГОСТ Р ИСО 13736-2010 «Определение температуры вспышки в закрытом тигле Абеля»	-30,0 °C ... +70,0 °C	Повторяемость 1,0 °C Воспроизводимость 1,5 °C
Метод Тага	закрытый	ГОСТ Р 53717-2009 «Определение температуры вспышки в закрытом тигле Тага»	ниже 93 °C	Повторяемость 1,6 °C Воспроизводимость 5,8 °C
Метод в закрытом тигле	закрытый	ГОСТ 6356-75 «Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле»	не ограничен	Повторяемость (2-4) °C Воспроизводи-мость (5-8) °C
Метод Кливленда и Бренкена	открытый	ГОСТ 4333-2014 (ISO 2592:2000) «Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле»	выше 79 °C	Повторяемость 4,0 °C Воспроизводимость 16 °C

В этой связи температура вспышки может быть определена только в рамках определенного стандартного метода испытания. Гарантировать общую допустимую корреляцию между результатами, полученными различными методами испытания, возможно только обеспечивая условия, близкие к равновесным, когда пар над жидкостью и сама жидкость находятся при одной и той же температуре, и при тщательном учете всех влияющих факторов.

В связи с важностью показателя температура вспышки для его практического определения существует ряд приборов, данные о некоторых приведены в таблице 3.

*Таблица 3 – Приборы для определения температуры вспышки нефтепродуктов*

Наименование прибора	Страна происхождения	Национальный стандарт	Диапазон измерения температур, °C
1 Анализатор АК-5Д	Россия	ГОСТ 6356-75	до 300
2 Аппарат ТВЗ-ЛТ	Россия	ГОСТ 6356-75	30-360
3 Аппарат ТВЗ-1М	Россия	ГОСТ 6356-75	30-360
4 Аппарат ТВЗ-ЛАБ-01	Россия	ГОСТ 6356-75	35-350
5 Анализатор СИМ-5Д	Россия	ГОСТ 6356-75	до 300
6 Прибор ВСПЫШКА-А	Россия	ГОСТ 4333 и ГОСТ 6356-75	30-260

Одним из универсальных приборов, предназначенных для измерения температуры вспышки нефтепродуктов в открытом и закрытом тиглях является анализатор температуры вспышки нефтепродуктов СИМ-5, разработанный в Сибирском научно-исследовательском институте метрологии (ФГУП «СНИИМ») [1]. Общий вид анализатора показана на рисунке.

Для поверки и калибровки указанных приборов в настоящее время выпускается значительное количество типов стандартных образцов (СО), метрологические характеристики некоторых из них представлены в таблице 4.

Кроме средств измерений температуры вспышки нефтепродуктов и государственных

стандартных образцов существует несколько эталонов температуры вспышки 2 и 3 разряда, предназначенных для метрологической аттестации стандартных образцов и средств измерений температуры вспышки нефтепродуктов.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что в настоящее время для температуры вспышки нефтепродуктов не существует централизованного воспроизведения этой единицы величины, так как отсутствует государственный первичный эталон и государственная поверочная схема температуры вспышки нефтепродуктов.

Вместе с тем существует необходимость обеспечения единства измерений важной физической величины температуры вспышки нефтепродуктов и прослеживаемость ее к государственным первичным эталонам для передачи с требуемой точностью размера единицы от первичного эталона к средствам измерений данной величины. Одним из методов решения этой проблемы может быть создание референтной методики измерений температуры вспышки нефтепродуктов и создание локальной поверочной схемы для величины температуры вспышки нефтепродуктов.



Рисунок – Анализатор температуры вспышки нефтепродуктов СИМ-5

Таблица 4 – Метрологические характеристики стандартных образцов температуры вспышки

Наименование ГСО (№ Госреестра СО)	Интервал аттестованных значений температуры вспышки в открытом тигле, °С	Значение расширенной неопределенности $U$ , аттестованного значения при $k=2$ °С	Аналогичные ГСО
ТВОТ-ПА(80) (10109-2012)	70-95	3	ТВОТ-ВНИИМ-80 (9673-2010) ТОТ-6 (8613-2004)
ТВОТ-ПА(110) (10109-2012)	100-125	3	ТВОТ-110-ЭК (8151-2002)
ТВОТ-ПА(130) (10109-2012)	126-140	3	ТВОТ-ВНИИМ-130 (9674-2010) ТОТ-3 (4409-89)
ТВОТ-ПА(150) (10109-2012)	145-175	3	ТВОТ-150-ЭК (9351-2009)
ТВОТ-ПА(190) (10109-2012)	180-205	3	ТВОТ-190-ЭК (9352-2009)
ТВОТ-ПА(230) (10109-2012)	210-250	3	ТВОТ-230-ЭК (9353-2009) ТОТ-7 (8804-2006)
ТВОТ-ПА(270) (10109-2012)	255-280	3	ТВОТ-270-ЭК (9354-2009) ТОТ-5 (5092-89)

Таким образом, в результате проведенного анализа показано, что в настоящее время для измерения температуры вспышки нефтепродуктов существует достаточно развитая нормативно-методическая база, в том числе, и международная, средства измерений, стандартные образцы и эталоны 2 и 3 разряда. Вместе с тем отсутствует система централизованного воспроизведения этой единицы величины, так как отсутствует государственный первичный эталон и государственная поверочная схема температуры вспышки нефтепродуктов. Решением этой проблемы может быть создание референтной методики измерений температуры вспышки нефтепродуктов и создание локальной поверочной схемы для величины температуры вспышки нефтепродуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Шувалов, Г.В. Экспериментальные исследования экспресс-метода определения температуры вспышки нефтепродуктов / Г.В. Шувалов // - Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2014. -№4. -С. 143-146.

REFERENCES

1 Shuvalov G.V., Experimental research of proximate analysis of petroleum products flash point temperature measurement [Eksperimental'nye issledovaniya ekspress-metoda opredeleniya temperatury vspyshki nefteproduktov]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2014. No. 4. pp. 143-146.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефтепродукты, метрологическое обеспечение, температура вспышки  
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, директор ФГУП «СНИИМ»  
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630004, г.Новосибирск, пр.Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»

## ОСОБЕННОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ НА СУДАХ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.М. Пичурин, И.А. Пичурина

## SPECIAL ASPECTS OF HEAT UTILIZATION ON SHIPS FOR AIR COOLING IN AIR CONDITIONING SYSTEMS

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

Aleksandr M. Pichurin (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

Inna A. Pichurina (Senior Lecturer of SSUWT)

**ABSTRACT:** On ships, a huge amount of heat is lost during the operation. Authors proposed to use this energy for improvement of the microclimate inside the vessel. A simplified methodology for determining energy costs and the scheme of its deploying is presented. A sequence of physical processes providing heat removal due to energy utilization is shown in the article.

**Keywords:** ship power system, air conditioning, water transport, desiccants, adsorber, comfort

На судах теряется огромное количество теплоты. Предлагается эту энергию использовать для улучшения микроклимата. Представлена упрощенная методика определения энергозатрат. Предложена схема установки. Показана последовательность физических процессов, обеспечивающих отвод теплоты за счет утилизации энергии.

Особенность работы судовой энергетики связана со значительными тепловыми потерями. Огромное количество энергии теряется с отработавшими газами тепловых двигателей. Специфика работы водного транспорта, особенно речного, связана с летним навигационным периодом, когда нет потребности в большом количестве теплоты. Подобные проблемы характерны и для морского транспорта, особенно для той его части, которая эксплуатируется в экваториальных широтах.

*Определение теплопритоков.* Рассчитать точное количество теплоты, поступающей в судовые помещения – сверхсложная задача. Необходимо учесть много факторов, которые не поддаются обобщению. Основная часть поступающей теплоты в помещения из окружающей среды связана с теплопередачей через ограждающие конструкции.

В этом случае используется следующая формула

$$\Phi = k \cdot \Delta T \cdot A, \quad (1)$$

где  $\Phi$  – тепловой поток, Вт;

$k$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\Delta t$  – разность температур между окружающей средой и воздухом в помещении, К;

$A$  – площадь ограждений, м<sup>2</sup>.

Сложным оказывается определение коэффициента теплопередачи. Для плоской трехслойной стенки он может быть определен по формуле

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициенты теплоотдачи от наружного воздуха к стенке и, соответственно, от стенки к помещению, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  – коэффициенты теплопроводности материалов, входящих в теплоизоляционную конструкцию, Вт/(м·К);

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$  – толщины слоев, входящих в соответствующую конструкцию.

Численный анализ при использовании различных внешних условий (скорость движения судна, влажность воздуха, скорость ветра и т.д.), а также оценка габаритов судов, дали возможность преобразовать эту зависимость к виду

$$k = \frac{\lambda}{\delta}, \quad (3)$$

где  $\delta, \lambda$  – толщина и коэффициент теплопроводности основного изоляционного слоя.

Тогда тепловой поток определится достаточно просто по формуле

$$\Phi = \frac{\lambda_1}{\delta_1} \Delta t \cdot A. \quad (4)$$

*Схема и работа системы кондиционирования.* Рассчитанный тепловой поток по выше



приведенной зависимости будет создавать рост температур в помещении и, соответственно, дискомфорт.

Для решения этой задачи предлагается использовать схему, представленную на рисунке 1. В состав этой схемы входят: вентилятор (В), водовоздушные холодильники (ВО1, ВО2), емкости с адсорбентом (твердым поглотителем влаги) и увлажнитель (У).

На диаграмме h-d (энтальпия-влажность воздуха, см. рисунок 2) показана последовательность процессов тепловлажностной обработки наружного воздуха и доведение его параметров до условий комфортности. В этом случае, последовательное глубокое охлаждение воздуха при использовании адсорбентов с последующим охлаждением заборной водой и увлажнением приводят к значительному снижению температуры воздуха. Этот эффект связан с тем, что на процесс испарения увлажняющей воды тратится огромное количество энергии и эта энергия отбирается от воздуха, который увлажняется.

**Утилизация теплоты.** Промежуточный процесс осушения воздуха при использовании адсорбентов эффективен только на первой стадии, когда количество влаги, полученное от воздуха, составляет примерно 0,5 от массы адсорбента. Дальнейшее использование влагопоглотителя становится невозможным. Предлагается использовать установку, состоящую из двух поглотителей влаги, работающих поочередно. При насыщении влагой до предельного состояния блок выводится из работы и регенерируется (восстанавливается с удалением влаги). Для этой цели через данный блок прогоняется воздух, нагретый до 150-200 °С от отработавших газов двигателей. Практически это легко реализуется, так как температура отработавших газов примерно в два раза выше этой температуры [1-3].

Таким образом, исключается необходимость в использовании парокомпрессорных холодильных машин для обеспечения работы системы кондиционирования воздуха, а наряду с этим, снижается расход электроэнергии.

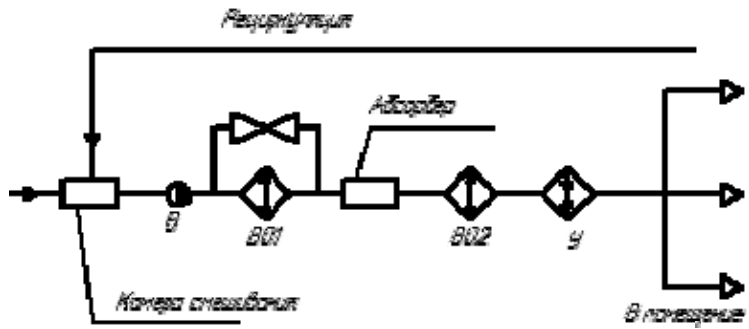


Рисунок 1 – Схема системы кондиционирования

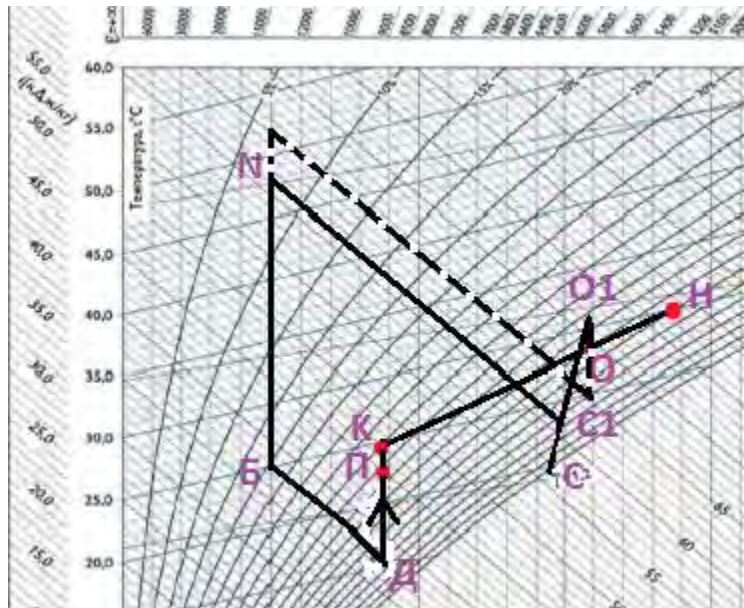


Рисунок 2 – Процессы тепловлажностной обработки на диаграмме h-d: C1-N - осушение в адсорбере (пунктирная линия выше – возможный процесс осушения при возможно более высокой температуре воды); B-D - увлажнение с понижением температуры; D-P - подача охлажденного воздуха в помещение, P-K - нагрев рециркуляционного воздуха, K-O-N - смешивание наружного и рециркуляционного воздуха, O-O1 - нагрев воздуха в вентиляторе, O1-C1 - охлаждение в первом воздушно-водяном холодильнике; N-B - охлаждение во втором воздушно-водяном холодильнике

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Захаров, Ю.В. Судовые установки кондиционирования воздуха и холодильные машины / Ю.В. Захаров. -Л.: Судостроение, 1979. -584 с.  
 2 Хордас, Г.С. Расчет общесудовых систем: справочник / Г.С. Хордас. -Л.: Судостроение, 1983. -440 с.  
 3 Ладин, Н.В. Судовые холодильные установки системы кондиционирования воздуха / Н.В. Ладин. -СПб.:

REFERENCES

1 Zakharov Yu.V., Ship air-conditioning and refrigerating systems [Sudovye ustanovki konditsionirovaniya vozdukhа i kholodil'nye mashiny]. Leningrad: Sudostroenie Publ. 1979. 584 p.  
 2 Khordas G.S., Ship service systems calculation [Raschet obshcheshudovykh system]. Leningrad: Sudostroenie Publ. 1983. 440 p.  
 3 Ladin N.V., Ship refrigerating units of air-conditioning system [Sudovye kholodil'nye ustanovki sistemy konditsionirovaniya voz-

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** судовая энергетика, кондиционирование воздуха, водный транспорт, поглотители влаги, адсорбер, комфортность  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Пичурин Александр Михайлович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 Пичурина Инна Анатольевна, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Цетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭТАЛОНА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ ЧАСТИЦ ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

ФГУП «Сибирский государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт метрологии»

**Г.В. Шувалов**

### INVESTIGATION OF THE IDEALLY POLARIZABLE PARTICLES OF WATER-IN-FUEL EMULSIONS

Siberian State Scientific Research Institute of Metrology (SNIIM) 4, Prospekt Dimitrova, Novosibirsk, 630004, Russia  
 Gennadiy V. Shuvalov (Head of SNIIM)

**ABSTRACT:** This paper evaluates the uncertainty in measurement of the ideally polarizable particles of water-in-fuel emulsions.

**Keywords:** uncertainty in measurement, water-in-fuel emulsions

Приведена оценка неопределенности измерений эталона электрической поляризуемости частиц водотопливных эмульсий.

В Сибирском научно-исследовательском институте метрологии (ФГУП «СНИИМ») был разработан опытный образец эталона электрической поляризуемости частиц, который можно использовать при калибровке установок для исследования водотопливных эмульсий (ВТЭ). Это позволит оперативно оценивать устойчивость ВТЭ для судовых двигателей, что является актуальным при создании и разработке способов стабилизации ВТЭ.

Одной из основных метрологических характеристик эталона является неопределенность измерений величины поляризуемости частиц. Ниже приводится оценка неопределенности измерений для опытного образца эталона.

Расчет неопределенностей измерений проводится в соответствии с РМГ 43-2001 «Руководство по выражению неопределенности измерений». Составляющими неопределенности результата измерения являются погрешности, обусловленные стандартными неопределенностями, оцениваемые по типу А и В.

Стандартная неопределенность, обусловленная неисключенными систематическими погрешностями (НСП), оценивается по типу В,  $U_B$ . Стандартная неопределенность, обусловленная случайными погрешностями (СП), оценивается по типу А,  $U_A$ .

Стандартную неопределенность по типу В оценивают по формуле

$$U_B = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^2}{3}}, \quad (1)$$

где  $\theta_i$  – составляющие погрешности.

Стандартную неопределенность результата единичного измерения по типу А оценивают по формуле

$$U_A = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество наблюдений (измерений);

$x_i$  – текущее значение измеряемого параметра;

$x_{cp}$  – среднее значение измеряемого параметра.

На основании стандартных неопределенностей  $U_A$  и  $U_B$  проводят оценивание суммарной стандартной  $U_C$  и расширенной неопределенности  $U_P$ .

Суммарную стандартную неопределенность  $U_C$  вычисляют по формуле

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2}. \quad (3)$$

Расширенную неопределенность  $U_p$  вычисляют по формуле

$$U_p = k\sqrt{U_A^2 + U_B^2}, \quad (4)$$

где  $k$  – коэффициент охвата.

Состав и назначение средств измерений и оборудования эталона для измерения величины поляризуемости биологических частиц и клеток приведен в таблице 1.

*Таблица 1 – Метрологические характеристики средств измерений*

Наименование составной части эталона	Тип, марка	Назначение	Метрологические характеристики
Усилитель	ГЗ-112/1	обеспечивает напряжение 5 В на электроды измерительной ячейки	Погрешность, %: $+(2 + 30/f_n)$ где $f_n$ – частота
Генератор	ГСПФ-052	обеспечивает подачу переменного напряжения на вход усилителя	Погрешность, %: 0,01%
Вольтметр	В7-37	измерение напряжения на измерительной ячейке	Погрешность измерения, %: $\pm 1,5$
Частотомер	ЧЗ-64	измерение частоты на измерительной ячейке	Погрешность, %: $\pm 1,5 \cdot 10^{-7}$
Комплекс визуализации	МС-14	обеспечивает визуализацию частицы	Размер пиксела 1,4×1,4 мкм
Вискозиметр капиллярный	ВПЖ-4		Погрешность, %: $\pm 0,3$
Микроскоп МИКМЕД-6	МИКМЕД-6	используется для измерения радиуса частицы $r_c$	Погрешность $\pm(1,4 + L/100)$ $L$ – размер, мм
Измерительная ячейка		для проведения диэлектрофореза частиц	Погрешность не хуже 0,5 мкм

Измерения проводят при температуре воздуха  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ ; атмосферном давлении 630-795 мм рт. ст. и влажности воздуха 30-60%.

Измеряемая величина объемной поляризуемости частицы в растворе определяется по формуле

$$\alpha_c = \frac{12\pi \cdot \eta_{cp} \cdot r_c \cdot \vec{v}_c}{\epsilon_0 \cdot \vec{\nabla} E^2}, \quad (5)$$

где  $r_c$  – радиус частицы;

$\epsilon_0$  – диэлектрическая постоянная;

$\eta_{cp}$  – вязкость среды;

$\vec{v}_c$  – скорость поступательного движения частицы;

$\vec{\nabla} E^2$  – градиент напряженности электрического поля.

Входные величины при измерении приведены в таблице 2.

*Таблица 2 – Входные величины при измерении*

Величина	Обозначение	Определение или описание
Радиус частицы, м	$r_c$	определяется экспериментально
Вязкость среды, Па·с	$\eta_{cp}$	определяется экспериментально
Скорость частицы в НПЭП, м/с	$\vec{v}_c$	определяется расчетным путем
Градиент напряженности электрического поля, $\text{В}^2/\text{м}^3$	$\vec{\nabla} E^2$	определяется расчетным путем
Температура измерений, $^\circ\text{C}$	–	влияние определяется расчетным путем

Анализ радиуса  $r_c$  частицы:

– тип оценивания неопределенности..... В;

– вид распределения..... прямоугольное;

– значения оценки..... 0,5 мкм;

– интервал значения входной величины ..... 2-10 мкм;

– стандартная неопределенность ..... 0,3 мкм.

Абсолютную погрешность принимаем равной  $\Delta r_{кл} = 0,5$  мкм, что соответствует разре-

шающей способности оптического микроскопа

$$\delta(r_{кл}) = \frac{\partial r_{кл}}{r} = \frac{0,5 \cdot 10^{-6}}{5,7 \cdot 10^{-6}} 100 = 8,8\% .$$

*Анализ вязкости  $\eta_{ср}$  среды:*

- тип оценивания неопределенности..... В;
- вид распределения..... прямоугольное;
- значения оценки.....  $\pm 0,3\%$ ;
- значение входной величины..... 1 мПа·с;
- стандартная неопределенность..... 0,17%.

ГОСТ 10028-81 «Вискозиметры капиллярные стеклянные. Технические условия». Допускаемая погрешность у вискозиметров  $\pm 0,3\%$ .

*Анализ скорости  $\bar{v}_c$  частицы в НПЭП:*

- тип оценивания неопределенности..... В;
- вид распределения..... прямоугольное;
- значения оценки..... 3,0%;
- интервал значения входной величины..... 0,5-25 мкм/с;
- стандартная неопределенность..... 1,7%.

Относительная погрешность измерений скорости, которая складывается из суммы погрешностей измерения расстояния  $\delta(S_{кл})$  и времени  $\delta(t)$  его прохождения

$$\delta(v_{кл}) = (\partial v_{кл}/v_{кл}) 100\% .$$

Скорость  $V_{кл}$  поступательного движения клетки в измерительной ячейке можно определить экспериментально. Погрешности измерения расстояния и радиуса клетки равны, то есть  $\partial S_{кл} = \partial r_{кл}$ . Из условия минимально допустимого расстояния, пройденного клеткой и равного трём её диаметрам  $S_{мин} = 3(2r_{кл})$ , выразим относительную погрешность

$$\delta(S_{кл}) = \frac{0,5 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 5,7 \cdot 10^{-6}} 100 = 2,9\% .$$

Погрешность измерения времени определяется частотомером ЧЗ-64, равной 1 нс, то есть  $10^{-9}$ . Оценка этой величины 0,1%. Таким образом, общая погрешность измерений поступательной скорости движения клетки составляет

$$\delta(v_{кл}) = \delta(s_{кл}) + \delta(t) = 2,9 + 0,1 = 3,0\% .$$

*Анализ градиента квадрата напряженности  $\bar{\nabla} E^2$  электрического поля:*

- тип оценивания неопределенности..... В;
- вид распределения..... прямоугольное;
- значения оценки..... 1,9%;
- интервал значения входной величины.....  $(0,4-2,5) \cdot 10^{14} \text{ В}^2/\text{м}^3$ ;
- стандартная неопределенность..... 1,1%.

В плоскости между электродами градиент квадрата неоднородного электрического поля (ГКНЭП)  $\bar{\nabla} E^2$  зависит от напряжения  $U$  на электродах, расстояния  $\ell$  между ними и описывается функцией

$$|\nabla E_{cp}^2| = \frac{U^2}{\ell^3} .$$

Общую относительную погрешность ГКНЭП находят как

$$\frac{|\partial \nabla E_{cp}^2|}{|\nabla E_{cp}^2|} = (\ln \nabla E_{cp}^2) |\partial \nabla E_{cp}^2| = \left| 2 \left( \frac{\partial U}{U} \right) + 3 \left( \frac{\partial \ell}{\ell} \right) \right| 100 ,$$

где  $\partial U/U$  – относительная погрешность измерения переменного напряжения на электродах измерительной ячейки;

$\partial \ell$  – абсолютная погрешность измерения расстояния между электродами измерительной ячейки.

Относительная погрешность измерения переменного напряжения на электродах измерительной ячейки вольтметром В7-37 составляет 1,0%.

Погрешность измерения расстояния  $\ell$  между электродами в измерительной камере рассчитывается следующим образом

$$\delta(\ell) = \frac{\partial \ell}{\ell} = \frac{0,5 \cdot 10^{-6}}{54 \cdot 10^{-6}} \cdot 100 = 0,9\%$$

где  $\partial \ell$  – принимается равным разрешающей способности оптического микроскопа – 0,5 мкм.

Суммарная погрешность составит 1,9%

*Анализ температуры:*

- тип оценивания неопределенности..... В;
- вид распределения..... прямоугольное;
- значения оценки..... 4 °С;
- интервал значений .....(20-24) °С;
- стандартная неопределенность ..... 2,3%.

Оценка изменения температуры составляет не более 4 °С, что дает влияние на измерения поляризуемости 2,3%. Оценка составляющих стандартной неопределенности по типу В приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Оценка составляющих неопределенности по типу В

Входная величина	Значение	Погрешность	Стандартная неопределенность, %	Коэффициент влияния	Стандартная неопределенность с коэффициентом влияния, %	Вклад стандартной неопределенности в суммарную, %
Радиус	(2-10) мкм	0,5 мкм	3-12	1	12	75
Вязкость	1 мПа·с	0,003 мПа·с	0,17	1	3	5
Скорость	(0,5-25) мкм/с	(0,015-0,075) мкм/с	1,7	1	1,7	2
Градиент квадрата напряженности электрического поля	(10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup> ) В/м	(2·10 <sup>3</sup> -2·10 <sup>4</sup> ) В/м	1,1	3	3,3	7
Температура	(20-24) °С	4 °С	12	0,4	4,8	11

Таким образом, стандартная неопределенность по типу В,  $u_B$ , % отн. составляет 14%.

Стандартная неопределенность результата единичного измерения по типу А оценена по выражению (2) составляет 3% отн.

Метрологические характеристики разработанного опытного образца эталона для измерения величины поляризуемости биологических частиц приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Метрологические характеристики эталона

Наименование характеристик	Значение
Диапазон измерения объемной поляризуемости, м <sup>3</sup>	от 10 <sup>-14</sup> до 10 <sup>-16</sup>
Стандартная неопределенность по типу А – $u_A$ , % отн.	3
Стандартная неопределенность по типу В – $u_B$ , % отн.	14
Суммарная стандартная неопределенность – $u_C$ , % отн.	15
Расширенная неопределенность, $u_o$ , % отн. ( $k = 2$ )	25

Таким образом, в результате проведенных исследований проведена оценка неопределенность измерений для опытного образца эталона электрической поляризуемости частиц водотопливных эмульсий, что дает возможность осуществлять калибровку установок для исследования водотопливных эмульсий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Шувалов, Г.В. Разработка эталона электрической поляризуемости частиц водотопливных эмульсий / Г.В. Шувалов // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. - 2015. -№4. -С. 183-185.

1 Shuvalov G.V., Development of ideally polarizable particles of water-in-fuel emulsions [Razrabotka etalona elektricheskoy polyarizuemosti chastits vodotoplivnykh emul'siy]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2015. No. 4. pp. 183-185.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** неопределенность измерений, водотопливные эмульсии  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, директор ФГУП «СНИИМ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630004, г.Новосибирск, пр.Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»

## СКРУББЕР С ПЕННЫМ АППАРАТОМ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПЕННОГО АППАРАТА

ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе» Сибирского отделения РАН  
ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)»  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

П.А. Мищенко, О.В. Соляков, С.В. Титов

### SCRUBBER WITH FOAM GENERATOR FOR CLEANING MARINE DIESELS EMISSIONS. PHYSICO-MATHEMATICAL MODEL OF DESIGN OF FOAM GENERATOR

Kutateladze Institute of Thermophysics, Siberian Branch of the RAS (Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS) 1, Ac. Lavrentieva Ave., Novosibirsk, 630090, Russia

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

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

Pavel A. Mishchenko (Lead Engineer of Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS)

Oleg V. Soliakov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of RUT)

Sergey V. Titov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

**ABSTRACT:** An alternative method for cleaning the exhaust gases of marine diesel engines is proposed. Authors presented the physico-mathematical model for calculating the parameters of the foam generator.

**Keywords:** scrubber, marine diesel engine, physico-mathematical model of foam generator, gas adsorption, foam layer

Предложен альтернативный метод очистки отработавших газов судовых дизелей. Представлена физико-математическая модель для расчета параметров пенного аппарата.

Отработавшие газы судовых дизельных двигателей содержат большое количество токсичных веществ, основные из которых  $SO_x$ ,  $NO_x$ , CO, альдегиды, углеводороды, бенз(а)пирен, сажа. На сегодняшний день не представляется возможным уложиться в международные нормы выбросов вредных веществ с отработавшими газами судовых дизелей только методами внутреннего подавления выбросов (рециркуляцией отходящих газов, совершенствованием рабочего процесса и пр.).

Методы внешнего подавления выбросов позволяют с высокой степенью эффективности удалить токсичные вещества из отработанных газов и уложиться в нормы международных экологических требований.

К методам внешнего подавления выбросов вредных веществ с отработавшими газами относится применение судовых скрубберов.

Скруббер (англ. «scrubber», от англ. scrub – «скрести», «чистить») – устройство, используемое для очистки твердых или газообразных сред от примесей в различных химико-технологических процессах.

На флоте наибольшее распространение получили скрубберы Вентури, полые и насадочные скрубберы.

*Скруббер Вентури* эксплуатируется при скоростях в горловине трубы Вентури не ниже 50 м/с, в результате высоких скоростей газа происходит дробление жидкости на капли диаметром 50-300 мкм. Чем выше скорости газа, тем более мелкий распыл жидкости на выходе из трубы. Высокие скорости газа позволяют задействовать инерционный механизм осаждения частиц и получать высокие значения очистки на аспирационных задачах. Главный недостаток данного скруббера падение эффективности очистки газа на долевых режимах работы дизеля, при снижении скорости потока газа.

*Полый скруббер* представляет собой короб, орошаемый жидкостью через форсунки. Как правило, газ движется снизу вверх. В этих условиях, чтобы предотвратить вынос жидкости, которая подается через форсунки в верхней части аппарата, среднерасходные скорости газа не превышают 1-3 м/с. По причине низких скоростей газа полые скрубберы имеют большие габариты, а из-за малой эффективности и необходимости установки нескольких ярусов форсунок высота скрубберов может достигать нескольких десятков метров.

*Насадочный скруббер* был создан с целью устранить недостатки полого скруббера за счет использования в коробе слоя специальной насадки, которая смачивается жидкостью и увеличивает поверхность контакта фаз и локальные скорости газа в межнасадочном про-

странстве. Насадка в изначальном виде представляла собой битый кирпич или деревянные бруски, в настоящее время используются специально выпускаемые насадки сложной геометрии, например кольца Рашига. К недостаткам насадочного скруббера относятся: склонность насадки к забиванию аэрозолями, неравное распределение жидкости по насадке, необходимость периодической замены насадки.

В качестве альтернативы применяемым на флоте скрубберам предлагается *скруббер с пенным аппаратом*. Данный скруббер обладает необходимыми преимуществами – высокая степень очистки газов, компактность, отсутствие расходных материалов, нетребовательность к обслуживанию и чистоте рабочей жидкости, возможность работы при большой дельте расхода газов и низкая себестоимость производства.

Пенные аппараты как устройства интенсивного теплообмена нашли широкое применение в химической, нефтеперерабатывающей коксогазовой, металлургической и других отраслях промышленности. Основные процессы, осуществляемые этими аппаратами – абсорбция газовых компонентов растворами жидкости, десорбция газов из жидкостей, испарение или конденсация жидкостей, теплообмен между фазами, очистка газов от твердых или газообразных примесей и т.п. Рабочей зоной в пенном аппарате является пенный слой, в котором турбулизация газожидкостной системы происходит за счет кинетической энергии газа, с получением подвижной, нестабильной, но динамически устойчивой пены.

Классические пенные аппараты в качестве мокрых аппаратов газоочистки обладают рядом преимуществ по сравнению с другими газоочистительными устройствами. Скорость газов в сечении пенных аппаратов достигает 4-5 м/с, что делает их интенсивнее и производительнее по сравнению с полыми или насадочными скрубберами и позволяет существенно снизить габаритные размеры. С другой стороны, время контакта фаз в пенном слое составляет десятые доли секунды, что на порядок дольше, чем в скоростных газопромывателях Вентури, и позволяет эффективно протекать абсорбционным процессам.

Начиная с 1960-х годов пенные аппараты стали получать широкое распространение, и, несмотря на успешные внедрения в промышленности, постоянно велись пути совершенствования аппаратов. Основными недостатками пенных аппаратов считаются нестабильность пенного режима при граничных режимах работы, волнообразование. Для создания более стабильной работы пенных аппаратов были предложены переливные конструкции с непровальными решетками. Но непровальные решетки имеют недостаток – наличие зоны «сухое-мокрое», склонной к зарастанию отложениями при работе в тяжелых условиях. При использовании провальных решеток зарастания аппаратов практически не происходит, по этой причине дальнейшее развитие получили пенные аппараты с провальными решетками и конструктивными стабилизаторами слоя. Например, разработанный в ЛТИ имени Ленсовета совместно с институтом Проектпромвентилиация пенный газоочиститель со стабилизатором пенного слоя (ПГИС-ЛТИ-И) был успешно испытан и рекомендован на многие предприятия в качестве газоочистителя. [1]

Следует отметить, что пенные аппараты со стабилизаторами слоя имеют некоторые технические сложности в эксплуатации, и при линейных скоростях выше 3,3 м/с может наступать волновой режим. [2]

Для подробного исследования гидродинамических характеристик дисперсионной решетки был создан стенд на основе пенного аппарата, производительностью по газу 800-1400 м<sup>3</sup>/ч. Отличительной особенностью данного аппарата является дисперсионная провальная решетка, создающая пенный слой за счет разнонаправленных закрученных потоков и не требующая стабилизаторов или переливных устройств.

Дисперсионные решетки обладают свойством турбулентной автостабилизации пенного слоя и отсутствию волнообразования, не склонны к зарастанию, и могут быть использованы для замены классических провальных решеток. Разработанный пенный аппарат состоит из сборных элементов, позволяющих достаточно просто осуществлять сборку пенных аппаратов любой производительности.

Замеры параметров проводились в соответствии с действующими методиками (ГОСТ 8.586.1-2005 ГСИ, ГОСТ 8.361-79, ГОСТ 15528-86) в системе вода-воздух при комнатной температуре.

*Гидравлическое сопротивление пенного аппарата.* Для удобства исследований и расчетов гидравлическое сопротивление полки  $\Delta P$  обычно разделяют на сопротивление сухой решетки  $\Delta P_{с.р.}$  и газожидкостного слоя на ней  $\Delta P_{сл}$ .



$$\Delta P = \Delta P_{c.p.} + \Delta P_{cn}. \quad (1)$$

Сопротивление сухих решеток однофазному потоку газа складывается из:

- потерь на сжатие струи при входе в отверстия;
- трения в отверстиях;
- потерь на расширение струи при выходе из отверстия.

Обычно гидравлическое сопротивление сухой решетки рассчитывается по формуле

$$\Delta P_{c.p.} = \xi \frac{\rho_e w_e^2}{2S_0^2}, \quad (2)$$

где  $\xi$  – коэффициент местного сопротивления;

$w_e$  – скорость газа, м/с;

$\rho_e$  – плотность газа;

$S_0$  – проходное сечение решетки, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

Коэффициент  $\xi$  является единственной величиной, необходимой для расчета  $\Delta P_{c.p.}$ , которая не вытекает явно из физических условий газового потока, проходящего через решетку, и зависит от ее геометрических параметров и качества изготовления. Обычно для дисперсионных решеток значение  $\xi$  находится в диапазоне 1,3-2,0 [2], для исследуемой дисперсионной решетки он составляет 1,7, что хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Гидравлическое сопротивление газожидкостного слоя рассчитывается с учетом того, что часть отверстий решетки заполнена протекающей жидкостью

$$\Delta P_{cn} = \frac{\xi_n w_e^2 \rho_e}{2S_0^2 \varphi_{oe}}, \quad (3)$$

где  $\xi_n$  – коэффициент гидравлического сопротивления при прохождении газом слоя пены;

$\varphi_{oe}$  – доля в отверстии решетки занятая газом.

Коэффициент гидравлического сопротивления при прохождении газом слоя пены зависит от характеристик пенного слоя. В литературе приводятся попытки исключить  $\xi_n$  из формул из-за трудностей определения. Для расчета гидравлического сопротивления противоточных решеток со свободным сечением  $S_0 = 0,15-0,25$  м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> при пенном режиме была предложена формула (4) [3]

$$\Delta P = N^2 \frac{w_e^2 \rho_e}{2S_0^2} + \Delta P_{\sigma}, \quad (4)$$

где параметр  $N^2 = (\xi_e + \xi_n) / \varphi_{oe}^2$  вычисляется для пенного режима по формуле

$$N = 38,8(L)^{-0,57} (L/G)^{0,7} (\rho_e / \rho_{ж})^{0,35}, \quad (5)$$

где  $L$  – расход жидкости, кг/ч;

$G$  – расход газа, кг/ч;

$\rho_e$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{ж}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

Гидравлическое сопротивление за счет сил поверхностного натяжения для дырчатых решеток

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{4\sigma}{1,9d_0 + 0,08d_0^2}, \quad (7)$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение жидкости, Н/м;

$d_0$  – характерный диаметр отверстия решетки.

Также для провальных решеток для скоростей газа 2,9-5,5 м/с предлагается уравнение [4]:

$$\Delta P_{cn} = 2,9 \frac{w_e^2 \rho_e}{S_0^2} (L/G)^{0,4} (\rho_e / \rho_{ж})^{0,2}. \quad (8)$$

Известна формула Молоканова [5]

$$\Delta P = (2\xi + 1) \frac{\rho_e w_0^2}{2(1 - \varphi_{ож})^3} + \frac{4\sigma}{d_0}, \quad (9)$$

где  $\varphi_{0ж} = 1/(1 + E'')$ ; (10)

$$E'' = \left[ \left( \frac{G}{L} \right)^2 \left( \frac{\rho_{ж}}{\rho_e} \right) \frac{(2\xi + 1) \mu_p^2}{2} \right]^{0,33}, \quad (11)$$

где  $\mu_p$  – динамический коэффициент вязкости жидкости;  
 $\xi$  – коэффициент сопротивления сухой решетки.

Предложенные критериальные и полуэмпирические зависимости при расчетах величины гидравлического сопротивления для дисперсионной решетки пенного аппарата при сравнении с экспериментальными данными показывают погрешность 30-70%, и малопригодны для технических расчетов. Для описания экспериментальных данных авторами предложена доработанная формула Вальдберга, включающая в себя другой коэффициент и учитывающая отношение скорости газа к минимальной скорости поднятия пены

$$\Delta P_{ср} = 2,82 w_e \left( \frac{L}{G} \right)^{-0,2} \left( \frac{w_e^2 \rho_e}{2 \varphi_e^2 S_0^2} \right), \quad (12)$$

где  $\varphi_e = \frac{1 - 0,1(L/G)^{0,33}}{1 - 0,1(L/G)^{0,33}}$ . (13)

На рисунке приведены экспериментальные данные в виде маркеров, полученные для различных расходов газа в зависимости от удельного орошения, а в виде кривых приведены результаты расчета по предложенной формуле (12). Характерно, что формула не учитывает момент поднятия пенного слоя, что хорошо видно на рисунке – ниже границы образования слоя экспериментальные данные и расчеты не совпадают. В зоне образованного пенного слоя предложенная зависимость совпадает с данными с погрешностью 5-7%.

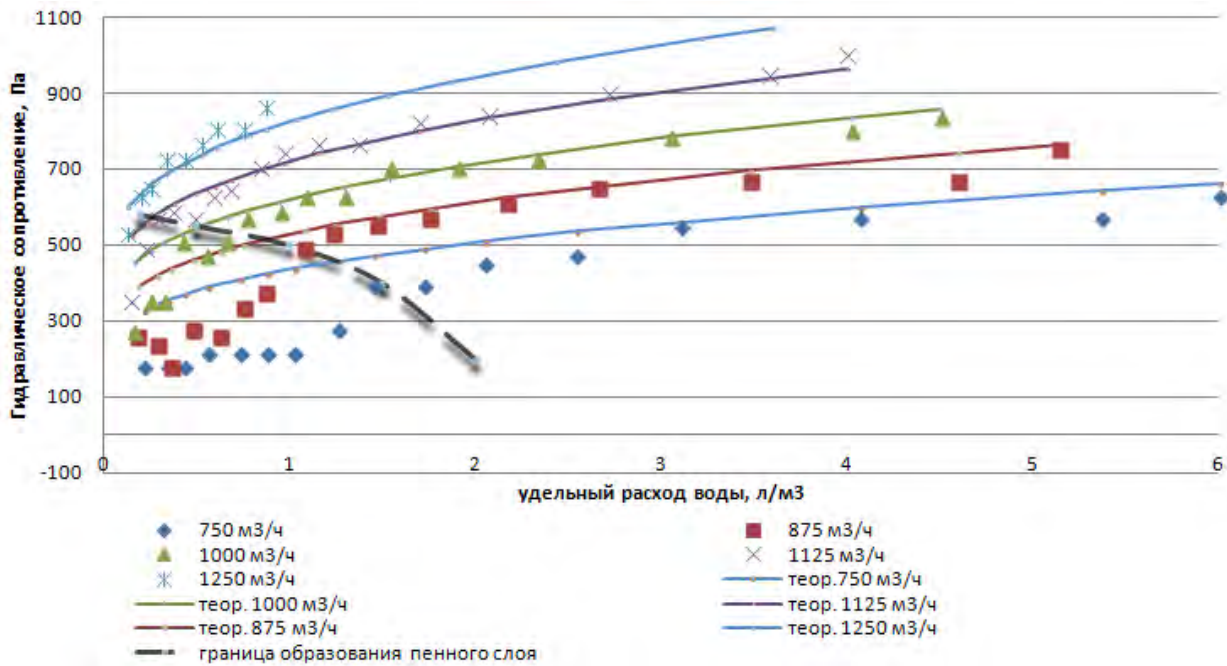


Рисунок – Зависимость гидравлического сопротивления от удельного орошения для дисперсионной решетки пенного аппарата

По гидравлическому сопротивлению пенного слоя можно судить не только о затрате энергии на процесс, но и об интенсивности осуществляемого процесса, поскольку объем образованной пены и ее сопротивление взаимно связаны. Скорость процесса тепло- или массопередачи в пенном аппарате пропорциональна количеству энергии, затраченной на пенообразование. Обычно для классических провальных решеток величина  $\Delta P_{с.р.}$  составляет 100-200 Па, а величина  $\Delta P_{ср}$  составляет 400-1000 Па в рабочем диапазоне линейных скоростей газа.

Для создания пенного слоя необходима минимальная величина удельного расхода жидкости, которая зависит от скоростей газа в отверстиях решетки. При высоких скоростях

газа 3,5-5 м/с достаточно небольшого количества жидкости, порядка 0,2-0,3 м<sup>3</sup>/ч на 1000 м<sup>3</sup>/ч газа. Существуют конструкционные решения, позволяющие поднимать пену и на более низких значениях удельного орошения, но, в целях предотвращения зарастания отверстий отложениями, количество подаваемой жидкости выставляют с небольшим запасом, для дисперсионной решетки пенного аппарата гарантированный устойчивый режим требует не менее 0,4 м<sup>3</sup>/ч жидкости на 1000 м<sup>3</sup>/ч газов.

При низких скоростях газа, для поднятия слоя пены, необходимо подавать большие количества жидкости, которая протекая сквозь отверстия, частично их перекрывает и увеличивает скорость газа. Верхний предел удельного орошения жидкости обычно определяется либо началом брызгоуноса, либо верхним значением допустимого гидравлического сопротивления на решетке.

**Высота пенного слоя.** В пенном аппарате возможно наблюдать несколько гидродинамических режимов в процессе пропускания газа через жидкостный слой. Основная классификация режимов, последовательно сменяющих друг друга при возрастании скорости газа: барботажный, пенный, инжекционный (брызговой). Оптимальным режимом для газоочистки является пенный режим, как режим с развитой свободной турбулентностью он является автотомельным, в нем влияние молекулярных характеристик потоков на перенос энергии становится несущественным. Подвижная пена является доминирующим видом двухфазной системы в значительном диапазоне изменения скоростей от 0,7-1,3 м/с до 4-5 м/с в зависимости от прочих условий. Но в этом диапазоне с ростом скорости газа значительно изменяется вид подвижной пены и объемная доля газа в ней. При переходе от ячеистой структурированной пены к подвижной уменьшаются размеры пузырьков, а при дальнейшем увеличении скорости газов пена приобретает струйный вихревой характер.

Границами режима турбулентной пены являются следующие значения критерия Рейнольдса

$$Re = \frac{w_e \cdot S}{\nu},$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость газа;

$S$  – площадь сечения аппарата на уровне диспергирующих решеток.

При  $Re = (0,8-1,0)10^5$  – переход от барботажного режима к режиму подвижной пены;

При  $Re = (2,6-2,8)10^5$  – переход от режима подвижной пены к инжекционному режиму.

Для определения границ режима подвижной пены используется также критерий Фруда, рассчитанный по скорости газа в полном сечении аппарата с принятой в качестве линейного размера высотой слоя

$$Fr = \frac{w_e^2}{gH},$$

При  $Fr = 1-1,3$  – переход от режима ячеистой пены к подвижной;

При  $Fr = 9$  – переход к инжекционному режиму.

В области устойчивого пенного режима высота пены пропорциональна скорости газа и удельному расходу жидкости. Для системы воздух-вода для решеток с проходным сечением 18-30% в литературе [6] предлагается следующая зависимость

$$H = 0,65w_e \left( \frac{Q}{S} + 0,015 \right) + 2 \frac{Q}{S}, \quad (14)$$

где  $Q$  – удельное орошение водой, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$S$  – площадь решетки в сечении аппарата, м<sup>2</sup>;

$w_e$  – линейная скорость газа в сечении аппарата, м/с.

Для дисперсионной решетки пенного аппарата уравнение (14) выдает заниженные значения.

Предложенная для практических расчетов ожидаемой высоты пены на провальных противоточных решетках формула

$$H = 11,9 \frac{w_e^{1,4} m^{0,3}}{d_0^{0,36} S_0}, \quad (15)$$

где  $m$  – удельный расход жидкости, л/м<sup>3</sup> (в пределах 0,4-1,2);

$d_0$  – эквивалентный диаметр проходного сечения отверстия решетки (5-15 мм);

$S_0$  – проходное сечение аппарата, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> (в пределах 14-20).

Также дает заниженные результаты.

Другие приводимые для пенных аппаратов полуэмпирические зависимости для расчета высоты слоя [7-9], применительно к дисперсионной решетке пенного аппарата показывают совершенно противоречивые результаты. Эмпирические данные, полученные на решетке пенного аппарата можно достаточно точно аппроксимировать простой формулой

$$H = 0,12w_g^{0,5}m^{0,3} \quad (16)$$

Значение высоты пенного слоя важно при расчете и проектировании многоступенчатых пенных аппаратов с несколькими последовательными рядами дисперсионных решеток. Чтобы не происходило «захлебывания» аппарата расстояние между полками обычно принимают существенно большее, чем высота пенного слоя. Для решеток пенного аппарата такое расстояние в зависимости от режима работы находится в диапазоне 300-500 мм.

Для практических расчетов подбираются такие режимы работы аппарата, чтобы высота динамического слоя находилась в диапазоне 7-20 см. Для аспирационных задач пылеулавливания предпочтительны режимы с высокой пеной (15-20 см), для абсорбционных задач часто оптимальными режимами являются режимы многоярусных аппаратов с высотой пены 7-12 см.

**Газосодержание.** Газосодержание по высоте слоя неодинаково и имеет три участка:

- начальный участок, соответствующий переходу от газосодержания в отверстиях решетки (величина пропорциональна скорости газа в отверстиях);
- стабилизированный участок, в котором  $\varphi = \text{Const}$ ;
- переходный участок, в котором газосодержание резко увеличивается до  $\varphi = 1$ .

С увеличением удельного расхода жидкости, при прочих равных условиях, газосодержание падает. Газосодержание незначительно уменьшается с увеличением поверхностного натяжения и мало зависит от вязкости жидкости, диаметр или форма отверстий провальной решетки не оказывает влияние на  $\varphi$ .

Для оценки величины газосодержания можно использовать формулу

$$\varphi = \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{\sqrt{Fr}}\right)} \quad (17)$$

Среднее газосодержание при работе данного пенного аппарата в оптимальных режимах находится в пределах 0,6-0,8.

**Выводы:**

1 Проведены натурные испытания дисперсионной решетки пенного аппарата с турбулентной стабилизацией пенного слоя, конструкция решетки практически исключила образование нерастворимых отложений на её поверхности.

2 Полученные экспериментальным путем гидродинамические зависимости были проверены на соответствие рекомендуемым в литературе полуэмпирическим формулам.

3 Предложены откорректированные формулы расчета высоты слоя для системы вода-воздух и зависимости гидравлического сопротивления пенного слоя от угольного орошения для дисперсионной решетки аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Позин, М.Е. Нормали на пенные газоочистители / М.Е. Позин, Э.Я. Тарат, А.П. Андрианов и др. –Л.: Изд-во ЛТИ им. Ленсовета-Гипрогазоочистка, 1960. -103 с.  
 2 Мухленов, И.П. Пенный режим и пенные аппараты // Под ред. И.П. Мухленова и Э.Я. Тарата. -Л.: Химия, 1977. -304 с.  
 3 Вальдберг, А.Ю. К вопросу о предельных параметрах пенного режима в аппаратах с полным протеканием / А.Ю. Вальдберг, Э.Я. Тарат // -Журнал Прикладной Химии. -1970. -Т.43. -№8. -С. 1712-1715.  
 4 Вальдберг, А.Ю. Гидравлическое сопротивление провальных решеток в колоннах с псевдооживленной насадкой / А.Ю. Вальдберг, Н.И. Гельперин, В.М. Тарасов // -Хим. и нефтегаз. машиностр. -1972. -№4. -С. 12-14.  
 5 Молоканов, Ю.К. О гидравлическом сопротивлении решетчатых и дырчатых тарелок провального типа / Ю.К. Молоканов // -Хим. Пром. -1962. -№4. -С. 291-294.  
 6 Позин, М.Е. Пенный способ обработки газов и жидкостей / М.Е. Позин, И.П. Мухленов, Е.С. Тумаркина

1 Pozin M.E., Tarat E.Ya., Andrianov A.P., Standards on exhaust gas foam cleaning systems [*Normali na pennye gazoochistiteli*]. Leningrad: LTI im. Lensoveta-Giprogaзоochistka Publ. 1960. 103 p.  
 2 Mukhlenov I.P., Tarata E.Ya., Foam mode and foam generators [*Pennyy rezhim i pennye apparaty*]. Leningrad: Khimiya Publ. 1977. 304 p.  
 3 Val'dberg A.Yu., Tarat E.Ya., Revisiting the ultimate parameters of foam mode in full-flow foam generators [K voprosu o predel'nykh parametrokh penного rezhima v apparatakh s polnym protekaniem]. *Zhurnal Prikladnoy Khimii*. 1970. Vol. 43. No. 8. pp. 1712-1715.  
 4 Val'dberg A.Yu., Gel'perin N.I., Tarasov V.M. Hydraulic resistance of perforated trays in columns with fluidization nozzle. *Chemical and Petroleum Engineering*. 1972. No. 4. pp. 12-14.  
 5 Molokanov Yu.K., On hydraulic resistance of grid and perforated trays [O gidravlicheskom soprotivlenii reshetchatykh i dyrchatykh tarelok provalnogo tipa]. *Khimicheskaya Promyshlennost'*. 1962. No. 4. pp. 291-294.  
 6 Pozin M.E., Mukhlenov I.P., Tumarkina E.S., Foam Scrubbing of gases and liquids [*Pennyy sposob obrabotki gazov i zhidkostey*]. Trudy LTI im Lensoveta. Vol. 31. Leningrad: Goskhimizdat Publ. 1955.

// Тр. ЛТИ им Ленсовета. -Вып. 31. -Л.: Госхимиздат, 1955. -258 с.

7 Александров, И.А. Массопередача при ректификации и абсорбции многокомпонентных смесей / И.А. Александров. -Л.: Химия, 1975. -320 с.

8 Тарат Э.Я. К вопросу об абсорбции плохо растворимых газов в пенном слое / Э.Я. Тарат, С.А. Богатых // -Журнал прикладной химии. -1961. -Т.34. -№.8. -С. 1886-1889.

9 Кач, Г.А. Моделирование десорбционных процессов содового производства / Г.А. Кач, В.Д. Смоляк. -Л.: Химия, 1973. -207 с.

258 p.

7 Aleksandrov I.A., Mass transfer during rectification and absorption of multicomponent mixtures [*Massoperedacha pri rektifikatsii i absorbtzii mnogokomponentnykh smesey*]. Leningrad: Khimiya Publ. 1975. 320 p.

8 Tarat E.Ya., Bogatykh S.A., Revisiting the absorption of poorly soluble gases in bubbling bed [K voprosu ob absorbtzii plokho rastvorimykh gazov v pennom sloe]. *Zhurnal Prikladnoy Khimii*. 1961, Vol. 34. No. 8, pp. 1886-1891.

9 Kach G.A., Smolyak V.D., Modeling of desorption processes of yeast production [*Modelirovanie desorbtsionnykh protsessov sodovogo proizvodstva*]. Leningrad: Khimiya Publ. 1973. 207 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** скруббер, судовой дизель, физико-математическая модель пенного аппарата, абсорбция газов, пенный слой

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Мищенко Павел Александрович, ведущий инженер ИТ СО РАН  
Соляков Олег Владимирович, канд. техн. наук, доцент РУТ (МИИТ)  
Титов Сергей Владиленович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630090, г.Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 1, ИТ СО РАН  
127994, г.Москва, ул.Образцова, 9, стр.9, РУТ (МИИТ)  
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

---

## КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НЕСИММЕТРИЧНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.А. Глотов, Ю.М. Денчик, В.Г. Сальников

THE CONCEPT OF INCREASING THE QUALITY OF GENERAL PURPOSE ASYMMETRIC POWER SUPPLY SYSTEMS OPERATION IN THE PRESENCE OF HARMONICS

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

Aleksandr A. Glotov (Graduate student of SSUWT)

Juliya M. Denchik (Doctoral student of SSUWT)

Vasily G. Sal'nikov (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

**ABSTRACT:** The article considers basic idea of conception of increasing the quality of general purpose asymmetric power supply systems operation in the presence of harmonics.

**Keywords:** *electromagnetic compatibility, power supply system, harmonics, «smart» grids, electromagnetic interference*

Рассмотрена основная идея концепции повышения качества функционирования несимметричных систем электроснабжения общего назначения при гармоническом воздействии.

Системы электроснабжения общего назначения региональных ЭЭС должны обеспечивать устойчивое (надёжное, бездефицитное, экономичное) снабжение электроэнергией всех потребителей, расположенных на их территориях. Обеспечение этих требований формируют в мировой электроэнергетике острую проблему. В связи с этим Министры энергетики восьми ведущих промышленно развитых стран мира (страны «Группы восьми») на встрече 03.05.2002 г. в США (г. Детройт, штат Мичиган) рекомендовали проблему передачи электрической энергии решать совместными усилиями [2, 4].

Одной из важных задач этой проблемы, указанной в главном аспекте системного анализа использования электрической энергии в региональной самодостаточной ЭЭС, является обеспечение нормируемых уровней ЭМС для кондуктивных низкочастотных ЭМП в электрических сетях. Математически задача может быть сформулирована так: найти минимум интегральной функции распределения (1)

$$F \delta X_{1,n} \rightarrow \min. \quad (1)$$

Эффективное функционирование ЭЭС в современных условиях становится невозможным без применения компьютерных технологий, что требует, в свою очередь, разработки адекватных математических моделей как ЭЭС в целом, так и её отдельных элементов. Исходя из этого, учитывая масштабность исследований, проводимых в мире по этой проблеме, возникает принципиальный вопрос: можно ли обеспечить ЭМС технических средств в сетях систем электроснабжения общего назначения путём подавления кондуктивных низкочастотных ЭМП?

В несимметричных СЭС общего назначения при гармоническом воздействии ЭМО определяется  $n$ -ым количеством стационарных случайных процессов, обусловленных нестандартными показателями КЭ. Все эти случайные процессы формируют единый сложный электромагнитный процесс. Исчерпывающая информация о таком процессе содержится в его многомерной интегральной функции распределения [2]

$$F_n(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n; t_1, t_2, \dots, t_n) = P(X_1 \leq X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n \leq X_n). \quad (2)$$

Приведенная функция характеризует вероятность того, что в момент времени  $t_i$  случайная величина  $X_i$  (значение  $i$ -го показателя КЭ) не превысит определённого своего значения.

Многомерная дифференциальная функция распределения вероятности определяется по формуле [1, 2]

$$P_n(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n; t_1, t_2, \dots, t_n) = \frac{\partial^n F_n}{\partial X_1 \partial X_2 \dots \partial X_i \dots \partial X_n}. \quad (3)$$

Для нормализации сложного электромагнитного процесса в сетях общего назначения необходимо подавить кондуктивные низкочастотные ЭМП, распространяющиеся по сетям.

Осуществить это можно путём применения специальных помехозащитных средств (ПЗС) и повышения помехоустойчивости технических средств (ПУ).

Повышение ПУ достигается параметрическими изменениями некоторых элементов функциональных узлов СЭС общего назначения для того, чтобы, помимо выполнения рабочих функций, эти элементы одновременно выполняли бы защитные функции [1].

С точки зрения обеспечения ЭМС технических средств оснащение электроэнергетических систем ПЗС и повышение их ПУ выполняет одну и ту же функцию – подавление кондуктивных низкочастотных ЭМП до приемлемых уровней. Объединим их по этому признаку в один класс помехоподавляющих технических средств (ППТС). Параметры ППТС составляют множество [2]

$$G_z = \{g_z^{(1)}, g_z^{(2)}, \dots, g_z^{(i)}, \dots, g_z^{(m)}\}, \quad (4)$$

где  $g_z^{(1)}, g_z^{(2)}, \dots, g_z^{(i)}, \dots, g_z^{(m)}$  – параметры ППТС;

$i = \overline{1, m}$  – замкнутое множество параметров;

$$g_z^{(i)} \in G_z.$$

Кондуктивные низкочастотные ЭМП обладают стохастическими свойствами и порождаются превышением нормально и (или) предельно допустимых значений показателей КЭ. Параметры этих ЭМП составляют множество  $G_k$

$$G_k = \{g_k^{(1)}, g_k^{(2)}, \dots, g_k^{(i)}, \dots, g_k^{(m)}\}, \quad (5)$$

где  $g_k^{(1)}, g_k^{(2)}, \dots, g_k^{(i)}, \dots, g_k^{(m)}$  – параметры кондуктивных низкочастотных ЭМП по  $i$ -му показателю КЭ;

$i = \overline{1, m}$  – замкнутое множество параметров;

$$g_k^{(i)} \in G_k.$$

Следует заметить, что

$$G_k \subset \sum M, \quad (6)$$

где  $\sum M$  – множество параметров, отображающее общую ЭМО.

Несмотря на общность электромагнитных процессов, специфика образования различных ЭМП и возможности исследования случайных процессов обуславливают различные подходы к определению параметров ЭМО. Исследование ЭМО в электрических сетях напряжением выше 1 кВ является трудоёмкой и опасной работой, требуемых специальных средств измерений и подготовленного персонала. Выполнить такие исследования могут, практически, только специализированные институты и организации, так как имеют соответствующие наукоёмкие технологии. Исследования достаточно дорогие [2].

Предположим, что априорно или на основании предварительных исследований известна многомерная интегральная функция распределения случайного процесса (2). На основании этих сведений можно составить некоторое множество ППТС  $G_z$  (4). Возникает вопрос: можно ли подавить кондуктивные низкочастотные ЭМП путём расчёта отдельных неслучайных параметров ЭМС и выбора необходимых ППТС? Для ответа на этот вопрос приводится доказательство теоремы об эквивалентности параметрических множеств ППТС и кондуктивных ЭМП в СЭС, обусловленных некачественной электроэнергией и распространяющихся по сетям [1, 2].

*Теорема:* Если  $G_z$  и  $G_k$  являются некоторыми множествами параметров ППТС и кондуктивных низкочастотных ЭМП и  $G_z$  известно, то

$$\left. \begin{aligned} G_z &= G_k \\ G_k &\subset G_z \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

*Доказательство.* Множество  $G_z$  определяется характером ЭМО, определено на множестве  $\sum M$  непрерывных случайных процессов

$$G_z \subset \sum M. \quad (8)$$

Множество  $G_k$  по смыслу также определено на множестве  $\sum M$ , так как непосредственно отражает характер ЭМО. Поэтому допускаем, что оба множества ( $G_z$  и  $G_k$ ) определены на множестве  $\sum M$ . Поскольку процесс реакции ППТС на изменение ЭМО происходит в параметрическом единстве, можно использовать биекцию (взаимно однозначное отображе-



ние). Это позволяет представить новое множество

$$G_k = \{g_{k,П}^{(1)}, g_{k,П}^{(2)}, \dots, g_{k,П}^{(i)}, \dots, g_{k,П}^{(m)}\}, \quad (9)$$

где  $g_{k,П}^{(1)}, g_{k,П}^{(2)}, \dots, g_{k,П}^{(i)}, \dots, g_{k,П}^{(m)}$  – параметры кондуктивных низкочастотных ЭМП из множества  $G_k$  (5), которые взаимно однозначно отображают параметры ППТС (4), то есть

$$g_z^{(i)} \longleftrightarrow g_{k,П}^{(i)}, \quad (10)$$

$i = \overline{1, m}$  – замкнутое множество параметров;

$$G'_k \subset \sum M. \quad (11)$$

Учитывая математические выражения (5), (9) и (10) и механизм образования  $G'_k$ , можем записать

$$G_z = G'_k \longleftrightarrow \forall g_{k,П}^{(i)} (g_z^{(i)} \in G_z \longleftrightarrow g_{k,П}^{(i)} \in G'_k). \quad (12)$$

В то же время множество  $G'_k$  является подмножеством множества  $G_k$ , так как образуется путём отбора отдельных значений  $g_{k,П}^{(i)}$  множества  $G_k$ , то есть содержится в множестве  $G_k$

$$G'_k \subset G_k. \quad (13)$$

*Теорема доказана.*

Важнейшим следствием теоремы об эквивалентности параметрических пространств ППТС и кондуктивных низкочастотных ЭМП является получение списка конкретных параметров  $g_{k,П}^{(i)}$  многомерной интегральной функции распределения показателей КЭ, необходимых для расчётов параметров ППТС. Очевидна цель получения параметров кондуктивных низкочастотных ЭМП – обеспечить ЭМС технических средств. Теорема даёт основание предположить, что одним из эффективных методов получения множества  $G_z$  (4) является регрессионный анализ, позволяющий из множества  $\sum M$  выделить значимые параметры

$$g_z^{(1)}, g_z^{(2)}, \dots, g_z^{(i)}, \dots, g_z^{(m)}.$$

Таким образом, теоретически доказана возможность повышения качества функционирования линий электропередачи путём выбора и разработки технических решений, обеспечивающих ЭМС за счёт подавления кондуктивных низкочастотных ЭМП, обусловленных некачественной электроэнергией [2].

Практическое значение заключается в том, что определился методический подход к разработке концепции повышения качества функционирования технических средств. Основными положениями этой концепции, которая обеспечивает нормируемый уровень ЭМС технических средств в СЭС общего назначения, являются [2]:

- определение с нужным приближением законов и параметров распределения кондуктивных низкочастотных ЭМП;
- нахождение вероятностей появления этих помех;
- оценка опасности их появления;
- выбор и разработка технических решений, обеспечивающих подавление кондуктивных низкочастотных ЭМП.

Расчётное обеспечение этой концепции, в общем случае, основывается на аналитических и численных методах исследования, выполняемых с помощью компьютеров [3]. Аналитические методы применяются:

- для нахождения точных аналитических решений, позволяющих проверить точность численного моделирования, являющегося приближённым по определению (из-за аппроксимации);
- для быстрого получения оценочных значений электромагнитных процессов, которые затем используются для задания начальных условий при численном исследовании на компьютере;
- для понимания качественных свойств исследуемой системы (узла нагрузки, источника ЭМП и т.д.), выяснения характера зависимостей выходных показателей системы от её параметров (прямая зависимость, обратная зависимость, практическая инвариантность).

В тоже время очевидна необходимость в использовании численных методов расчётов на компьютере. Основными преимуществами этих методов являются:

- допустимость использования более точных, а значит и более сложных моделей исследуемых систем, позволяющих учесть нелинейность, дискретность, нестационарность отдельных параметров и т.д.;

– возможность автоматизированной обработки всех результатов исследования с выпуском готовой технической документации;  
– наглядность полученных расчётов.

Известные программные продукты, которые могут быть использованы для исследования режимов работы сетей, искажающей нагрузки и т.д. в рамках концепции подавления кондуктивных низкочастотных ЭМП и обеспечения нормируемых уровней ЭМС технических средств, представляются двумя семействами в зависимости от вида математической модели:

– модели в виде системы дифференциальных уравнений для математических программ Mathcad, Matlab, Simnon, Matrix и т.д.;

– модели в виде схем замещения (принципиальных схем, блок-схем) для программ моделирования Spice, Microcap, ElectronicsWorkbench, Saber и т.д.

Большинство этих программ поддерживают формат входного языка программ Spice. При работе с программами предполагается, что пользователь знаком с технологией Windows. Кроме перечисленных программ, можно использовать программы для расчётов различных электромагнитных процессов в электрических сетях, потому что никаких принципиально новых требований к расчёту режимных задач не предъявляется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е.В. Иванова; Под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалека. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006. -432 с.
- 2 Денчик, Ю.М. Повышение качества функционирования линий электропередачи / Г.В. Ситников, Г.А. Данилов, Ю.М. Денчик, М.Н. Иванов; Под ред. В.П. Горелова, В.Г. Сальникова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2013. -559 с.
- 3 Беляев, Л.С. Рынок в электроэнергетике: проблемы развития генерирующих мощностей / Л.С. Беляев, С.В. Подковальников. -Новосибирск: Наука, 2004. -250 с.
- 4 Боровиков, Ю.С. Информационно-управляющая система мультипроцессорного комплекса моделирования в реальном времени энергосистем / Ю.С. Боровиков, А.О. Сулайманов // -Электротехника. -2013. -№5. -С. 56-63.

REFERENCES

- 1 Ivanova E.V., Conductive electromagnetic interference in electric power systems [Konduktivnye elektromagnitnye pomekhi v elektroenergeticheskikh sistemakh]. Novosibirsk: Novosibirsk St. Akad. Vater. Transp., 2006. 432 p.
- 2 Sitnikov G.V., Danilov G.A., Denchik Yu.M., Ivanov M.N., Improving the performance of power transmission lines [Povyshenie kachestva funktsionirovaniya liniy elektroperedachi]. Novosibirsk: Novosibirsk St. Akad. Vater. Transp., 2013. 559 p.
- 3 Belyaev L.S., Podkova'nikov S.V., Market in the electric power industry: problems of development of generating capacities [Rynok v elektroenergetike: problemy razvitiya generiruyushchikh moshchnostey]. Novosibirsk: Nauka Publ. 2004. 250 p.
- 4 Borovikov Yu.S., Sulaymanov A.O., Information-control system of a multiprocessor complex for real-time simulation of power systems [Informatsionno-upravlyayushchaya sistema mul'tiprotsessornogo kompleksa modelirovaniya v real'nom vremeni energosistem]. Elektrotehnika. 2013. No. 5. pp. 56-63.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электромагнитная совместимость, электроэнергетическая система, гармоническое воздействие, «умные» сети, кондуктивные электромагнитные помехи

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Готов Александр Александрович, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
Сальников Василий Герасимович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»

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

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГИСТРАЦИИ АВАРИЙНЫХ СОБЫТИЙ В СЕТЯХ 6-110 кВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

**А.В. Телегин, А.А. Базавлук, Ю.М. Денчик, В.Г. Сальников**

### IMPROVEMENT OF THE PROCESS OF FAULT REGISTRATION IN 6-110 kV POWER LINES USING THE NEW HIGH-FREQUENCY REGISTRATION SYSTEM

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

Andrey V. Telegin (Graduate student of SSUWT)

Artem A. Bazavluk (Graduate student of SSUWT)

Juliya M. Denchik (Doctoral student of SSUWT)

Vasily G. Sal'nikov (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

**ABSTRACT:** The article describes main stages of the historical development of registration systems of transient processes, notes the shortcomings of existing registration systems and equipment used to obtain primary signals. Authors consider the results of development and test runs of new high-frequency systems for recording transients, set up at real substations of 10 kV city power lines. Distinctive features of the developed system are high sampling frequency, high accuracy of the primary signal conversion, and real-time data transfer. The ways of further development of high-frequency fault recording systems are outlined, including the application of collected data to assessment of technical condition of switching equipment and the development of a unit for accurate fault location.

**Keywords:** transients, faults, registration system, overvoltage, sampling frequency, single line-to-earth fault, switch, fault location

Представлены основные этапы исторического развития систем регистрации переходных процессов, отмечены недостатки существующих систем регистрации и оборудования, используемого для получения первичных сигналов. Рассмотрены результаты разработки и опытной эксплуатации новых высокочастотных систем регистрации переходных процессов, установленных на действующих подстанциях городских кабельных сетей 10 кВ. Отличительными чертами разработанной системы являются высокая частота дискретизации, высокая точность преобразования первичного сигнала, а также передача данных в режиме реального времени. Намечены пути дальнейшего развития высокочастотных систем регистрации аварийных событий, включая применение результатов регистрации аварийных событий для оценки технического состояния коммутационного оборудования и разработку модуля определения точного места повреждения.

Одной из важнейших задач при эксплуатации воздушных и кабельных линий является своевременное определение места повреждения, его ликвидация и проведение восстановительных работ. Особенно актуально это для протяженных и разветвленных воздушных линий электропередачи. Проведение плановых осмотров и испытаний не гарантирует безаварийную эксплуатацию, возникают случайные повреждения – однофазные замыкания на землю или междуфазные короткие замыкания. Для этих целей необходимо иметь технические устройства, позволяющие регистрировать параметры аварийного режима (например, фазные напряжения, фазные токи, дискретные сигналы устройств релейной защиты и автоматики и др.), которые в дальнейшем можно использовать при анализе аварийных событий, особенно при расследовании аварий в электрических сетях и энергосистемах.

Фиксирующие приборы различных типов начали внедряться в энергосистемах Советского Союза в 1960-х годах [1]. По принципу действия применяемые в те годы фиксирующие приборы могут быть разделены на три основные группы: с механической, магнитной и электрической памятью [2]. Приборы с электрической памятью, основанные на использовании запоминающего конденсатора, получили в то время наибольшее распространение. В конце 1980-х годов было известно несколько модификаций фиксирующих приборов с запоминающими конденсаторами, различающихся в основном схемами считывающих устройств и конструкциями воспроизводящих элементов. Некоторые из них изготавливались в виде опытных образцов или выпускались серийно (например, приборы ФИП, ФИП-1 и ФИП-2, ЛИФП, Ф11Т, ФПН и ФИС рижского опытного завода «Энергоавтоматика»), другие производились энергосистемами для своих нужд мелкосерийно. Например, хорошо себя зарекомендовали в то время приборы, разработанные в Челябинэнерго (типа АИ-2 – стрелочные фиксаторы тока  $I_0$ ), Мосэнерго (АЗАН), Тулэнерго (АЗАР), Ленэнерго (ФА-63 и ФВ-63), Иркутскэнерго (ФВИ-3), Саратовэнерго (УОМП-1), Литовглавэнерго (ЦФП) и др. [2].

При дальнейшем развитии релейной защиты и автоматики (РЗА) для проверки правильности её работы сразу появилась необходимость определения реальных параметров аварийного режима. Функциональности фиксирующих приборов с запоминающими конденсаторами было недостаточно для специалистов. Возникла необходимость более расширенного и точного анализа переходных процессов при возникновении аварийных ситуаций в энергосистемах, то есть анализа основных параметров электрических сетей, таких как фазные напряжения и токи.

Первыми регистраторами аварийных событий (РАС) были светолучевые осциллографы Н11 (производства ленинградского завода «Вибратор»), позволявшие записывать до 8 каналов и сохранявшие параметры токов и напряжений на фотоплёнку, потом появились осциллографы Н13 (также производства ленинградского завода «Вибратор»), имевшие 12 каналов для записи и сохранявшие результаты на фотобумагу [3]. Затем были разработаны более совершенные на тот момент осциллографы Н022 (производства кишиневского завода «Виброприбор»), писавшие на магнитный барабан токи и напряжения и переводящие потом на бумагу, благодаря чему стала возможна запись предаварийного режима небольшой длительности [3]. Осциллографом Н022 можно было записывать без заметных искажений 12 электрических величин (токов и напряжений промышленной частоты с содержанием высших гармоник до пятой включительно). Указанные устройства были созданы для одной цели: зафиксировать процесс короткого замыкания (КЗ), который ранее нигде не фиксировался.

В 1990-х годах начали появляться первые микропроцессорные устройства для регистрации аварийных событий. Однако, так как в то время между производителями РАС, службами эксплуатации электрических сетей и службами релейной защиты не было отлаженной

обратной связи, то РАС представляли собой самые различные варианты, не всегда удобные для применения и последующей обработки событий.

В настоящее время, системы регистрации аварийных событий наибольший вклад вносят в основном при расследовании аварий в электрических сетях и энергосистемах, когда необходимо рассматривать токи, напряжения и дискретные сигналы с нескольких присоединений с привязкой к одному времени, располагая осциллограммы на одном экране. Исследование переходных процессов, происходящих в воздушных и кабельных сетях, позволяет предупреждать выход из строя силовых кабелей при выявлении предпробойных состояний кабелей, оценивать реальный уровень перенапряжений и определять временные параметры аварийных событий. Помимо этого, на распределительных подстанциях имеется большое количество устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики, защитных аппаратов (ОПН, RC-цепи) и устройств заземления нейтрали, требующих периодического контроля правильности и эффективности их эксплуатации.

В последнее время одной из актуальных задач при модернизации электроэнергетических систем является создание интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью [4, 5]. При этом электрическая сеть из пассивного устройства превращается в активный элемент, параметры и характеристики которого изменяются в реальном времени в зависимости от режимов работы энергосистемы и которые необходимо контролировать. Одной из основных идей интеллектуальных сетей является также и сбор статистических данных по аварийным событиям и отказам.

Для указанных выше целей могут быть использованы специальные системы регистрации переходных процессов и аварийных событий, которые позволяют осуществлять мониторинг переходных процессов в электрических сетях 6-110 кВ. Использование таких систем позволяет повысить надежность электроснабжения потребителей за счет контроля параметров сети в режиме реального времени (онлайн-мониторинг) и планирование ремонтов по техническому состоянию.

*Новая высокочастотная система регистрации переходных процессов.* На сегодняшний день существуют порядка десятка систем регистрации переходных процессов российского производства, среди которых наиболее распространенными являются системы регистрации АУРА (ООО «СВЕИ», г. Екатеринбург), НЕВА-РАС (ЗАО «Научно-производственная фирма «ЭНЕРГОСОЮЗ», г. Санкт-Петербург), ПАРМА (ООО «ПАРМА», г. Санкт-Петербург), РВЦ-801Д (ООО ВП «НТБЭ», г. Екатеринбург), РЭС-3 (ООО «Прософт-Системы», г. Екатеринбург).

Все эти системы регистрации для получения первичных сигналов напряжения используют установленные в электрических сетях трансформаторы напряжения. Однако в реальной эксплуатации трансформаторы напряжения обычно не поверяются, их частотные характеристики не нормируются. При этом они имеют малую полосу пропускания по частоте, не превышающую 3-5 кГц для трансформаторов типа НТМИ, НОМ и ЗНОМ [6]. Между тем, частоты реальных переходных процессов, протекающих при коммутационных воздействиях, однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ), коротких замыканиях (КЗ) и грозовых повреждениях, могут достигать от сотен герц до сотен килогерц и более [7, 8]. Это означает, что корректная запись аварийных осциллограмм с помощью стандартных регистраторов в ряде случаев не может быть обеспечена. Возникает необходимость разработки новой цифровой высокочастотной системы регистрации аварийных событий для электрических сетей 6-110 кВ.

Авторами совместно со специалистами ООО «Болид», как уже отмечалось в [9, 10], был разработан проект системы регистрации переходных процессов для сетей 6-110 кВ. Такая система регистрации переходных процессов и аварийных событий предназначена для мониторинга и осциллографирования высокочастотных процессов при коммутациях, любых видах однофазных замыканий на землю и коротких замыканий, грозовых повреждениях в электрических сетях 6-110 кВ [8]. Ключевые особенности реализации системы регистрации переходных процессов были рассмотрены авторами в [9, 10]. Структурная схема системы регистрации переходных процессов приведена в [9, 10].

Одним из основных элементов системы регистрации являются температурно-независимые емкостные делители напряжения (ДН), используемые в качестве датчиков фазных напряжений 6-110 кВ. Они поставляются в составе систем регистрации, имеют диапазон рабочих частот от 20 Гц до 500 кГц.

В отличие от большинства выпускаемых сегодня делителей напряжения, делители про-

изводства ООО «Болид» рассчитаны на постоянное использование в существующих сетях стандартных напряжений от 6 до 110 кВ и имеют класс точности преобразования первичного сигнала 1,0 (6-35 кВ) или 5,0 (110 кВ) во всем рабочем диапазоне частот. Для точности привязки к абсолютному времени используется GPS-модуль. Ключевые параметры делителей напряжения представлены в таблице 1.

*Таблица 1 – Ключевые параметры делителей напряжения 6-110 кВ производства ООО «Болид»*

Наименование параметра	Значение		
Номинальное рабочее напряжение, кВ	6, 10	20, 35	110
Номинальный коэффициент деления	5 000	10 000	20 000
Рабочий диапазон частот, кГц	от 0,02 до 500	от 0,02 до 500	от 0,02 до 500
Вес делителя без присоединительных проводов, кг	2,5	3,5	7,5
Климатическое исполнение, категория размещения по ГОСТ 15150	УХЛ 2		
Класс точности во всем рабочем диапазоне частот	1,0	1,0	5,0
Номинальная нагрузка не менее, МОм	1		
Рабочий температурный диапазон, °С	от -55 до +40		

*Анализ результатов опытной эксплуатации высокочастотных систем регистрации аварийных событий.* Как было отмечено в [9], в августе 2012 года высокочастотная система регистрации была введена в опытную эксплуатацию на две крупные питающие подстанции «Архэнерго» – филиала ПАО «МРСК Северо-Запада» (г. Архангельск). Одна из подстанций (далее – подстанция «А») эксплуатируется с заземлением нейтрали каждой из двух секций шин 10 кВ через дугогасящие реакторы, другая подстанция (далее – подстанция «Б») эксплуатируется в режиме изолированной нейтрали. Кабельные сети подстанций «А» и «Б» построены на основе кабелей с бумажно-масляной пропитанной изоляцией (БМПИ), находящихся в эксплуатации с 1970-1980 гг. Суммарная протяженность кабельных сетей для подстанции «А» составляет около 100 км, для подстанции «Б» – около 60 км.

Вторая система регистрации была установлена в марте 2015 года в сети 10 кВ одной подстанции ПЭС «Гомельэнерго» (г. Гомель, Республика Беларусь) (далее – подстанция «В»). Сеть 10 кВ подстанции «В» эксплуатируется в режиме изолированной нейтрали. Схема электроснабжения сети потребителей достаточно разветвленная. От секций 10 кВ осуществляется электроснабжение ряда трансформаторных и распределительных подстанций г. Гомель, заводов и комбинатов.

За время опытной эксплуатации систем регистрации было зарегистрировано большое количество аварийных событий. Результаты опытной эксплуатации системы регистрации для подстанций «А», «Б» и «В» приведены в таблице 2, где обозначено:

ОЗЗ – количество дуговых ОЗЗ, самоустранившихся либо выявленных и принудительно отключенных с предварительным переводом на резерв;

ОЗЗ-КЗ – количество переходов дуговых ОЗЗ в междуфазные КЗ с аварийным отключением присоединений;

КЗ – количество междуфазных КЗ, без предшествующего ОЗЗ.

*Таблица 2 – Результаты опытной эксплуатации высокочастотной системы регистрации в сетях 10 кВ подстанций «А» и «Б» «Архэнерго» – филиала ПАО «МРСК Северо-Запада» (август 2012-декабрь 2014) и в сети 10 кВ подстанции «В» ПЭС «Гомельэнерго», Республика Беларусь (март 2015-март 2016)*

Наименование ПС/вид аварийного события	ОЗЗ	ОЗЗ-КЗ	КЗ	Всего событий
«Архэнерго», ПС «А», 110/10 кВ	102 (65,8%)	34 (21,9%)	19 (12,3%)	155 (100%)
«Архэнерго», ПС «Б», 110/10 кВ	44 (62,9%)	20 (28,6%)	6 (8,5%)	70 (100%)
«Гомельэнерго», ПС «В», 110/10 кВ	31 (41,9%)	19 (25,7%)	24 (32,4%)	74 (100%)

Анализ представленных результатов опытной эксплуатации (таблица 2) показывает, что в кабельной сети 10 кВ подстанции «А» с компенсацией емкостных токов количество аварийных событий (155 событий) существенно больше и их последствия, выражаемые в количестве аварийно отключенных присоединений (53 события), тяжелее, чем в сети без ком-

пенсации на подстанциях «Б» (70 и 26 событий соответственно) и «В» (74 и 43 события соответственно). Это свидетельствует о низкой эффективности существующей системы компенсации на подстанции «А» и необходимости оптимизации режима заземления нейтрали. Для подстанций «Б» и «В» необходимо проанализировать основные причины повреждений и обеспечить планомерную работу по модернизации кабельных линий и оптимизации режима заземления нейтрали.

*Перспективные пути использования систем регистрации переходных процессов.* Среди возможных путей развития высокочастотных систем регистрации можно выделить следующие:

1 Совершенствование метрологических характеристик широкополосных ДН на напряжения 6, 10, 20, 35 кВ и разработка серийных образцов высокочастотных ДН на напряжения 110-220 кВ для применения в системах регистрации для подстанций с различными классами напряжения.

2 Совершенствование технических характеристик измерительных модулей системы регистрации (расширение частотного диапазона, увеличение количества каналов).

3 Разработка методов и средств определения места повреждения (ОМП) в кабельных и воздушных сетях среднего напряжения с неэффективным заземлением нейтрали.

4 Разработка алгоритмов автоматической классификации зарегистрированных событий (в том числе с использованием машинного обучения).

5 Интеграция системы СПЕКТР в диспетчерские информационные комплексы.

Одним из путей использования данных онлайн-мониторинга, полученных с помощью разработанной системы регистрации аварийных событий с использованием в ее составе делителей напряжения с широкой полосой рабочих частот, является также возможность оценки технического состояния коммутационного оборудования, а именно:

– Производится онлайн-регистрация переходных процессов на шинах подстанции при коммутациях выключателей.

– Оцениваются параметры работы высоковольтных выключателей (величины перенапряжений, скорость изменения пробивного напряжения, синхронность работы модулей коммутационного аппарата в полюсе, количество предварительных пробоев и повторных зажигания) [11].

– События, записанные системой регистрации, сопоставляются с диспетчерскими данными для идентификации присоединения с конкретным выключателем.

Это позволит своевременно выявлять возможные неисправности коммутационного оборудования и повысить надежность работы электроэнергетических сетей и систем.

Еще одним направлением развития систем регистрации переходных процессов является разработка модуля определения места повреждения, особенно для протяженных воздушных линий сложной топологии с большим количеством ответвлений. На сегодняшний день не существует действующих методов автоматического поиска места однофазного замыкания на землю в таких сетях. Существующие средства определения мест повреждений при КЗ на воздушных линиях в распределительных сетях не обладают достаточной точностью.

Большая протяженность воздушных линий среднего класса напряжения, а также их расположение в местности со сложным природным рельефом приводит к значительным временным затратам на поиск места повреждения традиционными методами. Это влечет за собой повышенное время отключения потребителей, увеличенные издержки от недоотпуска электрической энергии.

Определяющим методом разрабатываемого модуля ОМП является волновой метод двусторонних измерений. Внедрение устройства автоматического определения расстояния до места повреждения на ВЛ предполагается на распределительных подстанциях с отходящими воздушными линиями среднего напряжения, поиск места замыкания на которых существенно затруднен (развитая топология линии, сложный рельеф). При успешной разработке и отладке модуля ОМП для системы регистрации возможно достичь следующих результатов:

– Снижение времени, затрачиваемого на поиск места повреждения изоляции ВЛ в результате замыкания (в том числе однофазного замыкания на землю), по сравнению с традиционными методами (обход и осмотр ВЛ) до 8-10 раз.

– Снижение загруженности оперативно-выездных и линейных бригад за счет автоматизации процесса поиска места повреждения изоляции ВЛ в результате замыкания.

– Снижение времени отключения потребителей, связанных с длительным процессом поиска места повреждения изоляции ВЛ, особенно при ОЗЗ, традиционными методами (обход и осмотр ВЛ) до 8-10 раз.

– Снижение издержек от недоотпуска электроэнергии потребителям, связанного с длительным процессом поиска места повреждения изоляции ВЛ (особенно при ОЗЗ) традиционными методами (обход и осмотр ВЛ) до 8-10 раз.

**Заключение.** Приведены основные стадии исторического развития систем регистрации переходных процессов, отмечены недостатки существующего оборудования, рассмотрены ключевые особенности новой системы регистрации переходных процессов. Представлена и проанализирована статистическая информация об аварийных событиях в электрических сетях трех действующих подстанций «Архэнерго» – филиала ПАО «МРСК Северо-Запада» и ПЭС «Гомельэнерго», полученной с помощью новой системы регистрации. Отмечена недостаточная эффективность системы компенсации емкостных токов на одной из подстанций «Архэнерго».

Намечены пути дальнейшего развития высокочастотных систем регистрации аварийных событий, включая применение результатов регистрации аварийных событий для оценки технического состояния коммутационного оборудования и разработку модуля определения точного места повреждения.

При совместном использовании системы регистрации аварийных событий и системы ОМП будет возможно детально определить информацию об аварийном событии в электрической сети. Точные данные о характере и месте повреждения позволят значительно упростить работу оперативно-выездных бригад, осуществляющих восстановительные работы на поврежденных линиях электропередач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- 1 Кузнецов, А.П. Определение мест повреждения на воздушных линиях электропередачи / А.П. Кузнецов. -М.: Энергоатомиздат, 1989. -94 с.
- 2 Борухман, В.А. Устройства для определения мест повреждения на воздушных линиях электропередачи 6-750 кВ / В.А. Борухман, А.А. Кудрявцев, А.П. Кузнецов. -М.: Энергия, 1980. -104 с.
- 3 Линт, Г.Э. Автоматические осциллографы при измерениях / Г.Э. Линт. -М.: Энергия, 1972. -96 с.
- 4 Методические указания по применению в ОАО «Московская объединенная электросетевая компания» основных технических решений по эксплуатации, реконструкции по новому строительству электросетевых объектов (утв. Приказом ОАО МОЭСК от 31.12.2014 №1533).
- 5 Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью. -Режим доступа: [http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies\\_aas.pdf](http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf). -05.12.2017
- 6 Гиндуллин, Ф.А. Перенапряжения в сетях 6-35 кВ / Ф.А. Гиндуллин, В.Г. Гольдштейн, А.А. Дульзон, Ф.Х. Халилов. -М.: Энергоатомиздат, 1989. -192 с.
- 7 Лихачев, Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов / Ф.А. Лихачев. -М.: Энергия, 1971. -152 с.
- 8 Shirkovets, A. Oscillography of Transient Processes at Physical Phase-to-ground Fault Modeling in Operational 6-35 kV Networks / A. Shirkovets, A. Vasilyeva, A. Telegin, L. Sarin, M. // In electronic Proc. 3rd International Youth Conference of Energetics IYCE, 2011.
- 9 Телегин, А.В. Исследование переходных процессов при аварийных событиях в городской электрической сети с использованием высокочастотной системы регистрации / А.В. Телегин, А.И. Ширковец, В.А. Сенченко, В.С. Кириченко, Ю.М. Денчик // -Науч. пробл. трансп. СибИ Дал. Вост. -2014. -№4. -С. 369-374.
- 10 Телегин, А.В. Разработка высокочастотной системы регистрации аварийных событий для электрических сетей 6-110 кВ / А.В. Телегин, А.И. Ширковец, В.А. Сенченко, В.С. Кириченко, Ю.М. Денчик // Современные научные исследования: актуальные проблемы и тенденции: сб. тр. межд. науч.-практ. конф. -Омск: Изд-во Омский Инст. Водн. Трансп. (филиал) ФГБОУ ВО Новосибир. Гос. Акад. Водн. Трансп., 2014. -С. 168-172.
- 11 Базавлук, А.А. Перенапряжения при коммутациях вакуумных выключателей / А.А. Базавлук, Л.И. Сарин, Г.Г.

- 1 Kuznetsov A.P., Determination of fault locations on overhead power lines [Opredelenie mest povrezhdeniya na vozduzhnykh liniyakh elektroperedachi]. Moscow: Enerroatomizdat Publ. 1989. 94 p.
- 2 Borukhman V.A., Kudryavtsev A.A., Kuznetsov A.P., Devices for determination the fault locations on overhead power lines [Ustroystva dlya opredeleniya mest povrezhdeniya na vozduzhnykh liniyakh elektroperedachi 6-750 kV]. Moscow: Energiya Publ. 1980. 104 p.
- 3 Lint, G.E. Automatic oscilloscopes [Avtomaticheskie ostsillografi pri izmereniyakh]. Moscow: Energiya Publ. 1972. 96 p.
- 4 Instructions for the implementation of the main technical solutions for operation, reconstruction for the new construction of power grid facilities in the JSC Moscow United Electric Grid Company.
- 5 The main provisions of the concept of an intelligent power system with an active adaptive network [Osnovnye polozheniya kontseptsii intellektual'noy energosistemy s aktivno-adaptivnoy set'yu]. URL: [http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies\\_aas.pdf](http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf). -December 5, 2017
- 6 Gindullin F.A., Gol'dshteyn V.G., Dul'zon A.A., Khalilov F.Kh., Overvoltages in 6-35 kV power networks [Perenapryazheniya v setyakh 6-35 kV]. Moscow: Energoatomizdat Publ. 1989. 192 p.
- 7 Likhachev F.A., Ground faults in networks with insulated neutral and with compensation of capacitive currents [Zamykaniya na zemlyu v setyakh s izolirovannoy neytral'yu i s kompensatsiyey emkostnykh tokov]. Moscow: Energiya Publ. 1971. 152 p.
- 8 Shirkovets A., Vasilyeva A., Telegin A., Sarin L., Ilynykh M., Oscillography of Transient Processes at Physical Phase-to-ground Fault Modeling in Operational 6-35 kV Networks. In electronic Proc. 3rd International Youth Conference of Energetics IYCE, 2011.
- 9 Telegin A.V., Shirkovets A.I., Senchenko V.A., Kirichenko V.S., Denchik Yu.M., Investigation of transient processes in case of emergency events in the city power network using a high-frequency registration system [Issledovanie perekhodnykh protsessov pri avariynykh sobyitiyakh v gorodskoy elektricheskoy seti s ispol'zovaniem vysokochastotnoy sistemy registratsii]. Nauchnyye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2014. No. 4. pp. 369-374.
- 10 Telegin A.V., Shirkovets A.I., Senchenko V.A., Kirichenko V.S., Denchik Yu.M. Development of a high-frequency system for recording emergency events for 6-110 kV power networks [Razrabotka vysokochastotnoy sistemy registratsii avariynykh sobyitiy dlya elektricheskikh setey 6-110 kV]. Sovremennye nauchnye issledovaniya: aktual'nye problemy i tendentsii. Omsk: Omsk Inst. Water Transp. Publ. 2014. pp. 168-172.
- 11 Bazavluk A.A., Sarin L.I., Mikhaylovskiy G.G., Naumkin I.E., Gogolyuk V.V. Overvoltage at switching by vacuum switches



Михайловский, И.Е. Наумкин, В.В. Гоголюк // - [Perenapryazheniya pri kommutatsiyakh vakuumnnykh vyklyuchateley]. Энергоэксперт. -2011. -№2. -С. 27-32. | Energoekspert. 2011. No. 2. pp. 27-32.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *переходные процессы, аварийные события, система регистрации, перенапряжение, частота дискретизации, однофазное замыкание на землю, выключатель, определение места повреждения*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Телегин Андрей Владимирович, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
Базаевлук Артем Александрович, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
Сальников Василий Герасимович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

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

## **РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

**ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»**

**И.В. Белицын, С.О. Хомутов, Е.А. Котугин**

### **DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEM STRUCTURE FOR ANALYSIS OF QUALITY INDICATORS OF THE ELECTRIC ENERGY SERVICE**

**Polzunov Altay State Technical University (AltSTU) 46, Lenina Ave., Barnaul, 656038, Russia**

**Igor' V. Belitsyn (Ph.D. of Pedagogic Sciences, Assoc. Prof. of AltSTU)**

**Stanislav O. Khomutov (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of AltSTU)**

**Evgeniy A. Kotugin (Graduate student of AltSTU)**

**ABSTRACT:** Wavelet analysis based algorithm and program for analyzing the quality indicators of the electric energy service is introduced. The programs are written in Python, which allows them to be run on personal computers with different operating systems.

**Keywords:** *time series digital processing, algorithm, quality of the electric energy service, wavelet analysis*

Разработан алгоритм и программа для анализа показателей качества электрической энергии на основе вейвлет-анализа. Программы написаны на языке Python, что позволяет использовать их на персональных компьютерах с различными операционными системами.

Основная задача энергетического комплекса РФ состоит в снижении энергоёмкости ВВП России. Задачу возможно решить, используя электрическую энергию надлежащего качества и сокращая потери электроэнергии при её транспортировке. Это должно обеспечить выполнение указа Президента Российской Федерации (№889 от 04.06.2008 г.) «О некоторых мерах по повышению энергетической эффективности российской экономики» – снизить к 2020 году энергоёмкость ВВП России не менее чем на 40% по сравнению с уровнем 2007 года. Такая же задача сформулирована и в Энергетической стратегии России на период до 2030 года.

Показатели качества электрической энергии (ПКЭ) определяются государственным стандартом [1]. Изучению ПКЭ посвящено большое число работ. При этом в качестве основного средства анализа измерительной информации используется аппарат Фурье-преобразования. Однако в силу нестационарности временного ряда Фурье-анализ не способен дать исчерпывающей информации о ПКЭ. Учёт особенностей нестационарных временных рядов возможен, используя вейвлет-анализ, применению которого для анализа ПКЭ в последнее время посвящено большое число работ [2-4].

Целью исследования является разработка алгоритма и программных средств анализа ПКЭ на основе вейвлет-преобразования, позволяющих произвести цифровую обработку временных рядов ПКЭ.

Разработанная система предназначена как для просмотра и вейвлет-анализа ПКЭ, так и для вейвлет-анализа любых одномерных временных рядов, находящихся в формате CSV (Comma Separated Value — значения, разделённые запятой). Разработанный алгоритм анализа ПКЭ состоит из двух этапов: интерполирование и исключение тренда (предобработка измерительной информации); анализ на основе вейвлет-преобразований и (или) быстрого преобразования Фурье.

Алгоритм анализа временных рядов на основе вейвлет-анализа можно представить в виде диаграммы деятельности, произведённой в среде UML-моделирования (Umbrello UML Modeller) (рисунок 1).

Для начала анализа оператор задает параметры исходных данных, а именно: имя файла, временной интервал, ПКЭ, точку учёта электрической энергии, шаг дискретизации. Эти исходные данные импортируются из загружаемого файла. Хранение данных осуществляет-

ся файлами в формате CSV. Это позволяет использовать для анализа не только данные с ПКЭ, но и данные других одномерных временных рядов, с условием соблюдения требований формата CSV. На втором этапе происходит интерполяция данных с построением соответствующего графика временного ряда. Анализируя полученный график, оператор принимает решение дать команду системе исключить линейную составляющую тренда, в том случае, если исследуемый временной ряд её содержит. Необходимо на этапе анализа построить скалограмму, поскольку именно она даёт возможность оценки степени нестационарности сигнала. В том случае, если на исследуемом временном участке исходных данных (период, амплитуда) остаются примерно неизменными, то для анализа достаточно построения периодограммы Фурье-анализа, поскольку в ней отражаются все особенности временного ряда. Если период, амплитуда значительно изменяются, то необходимо построить скейлограмму, которая даст возможность сказать, имеет ли временной ряд близкие частотные компоненты. В этом случае необходимо построить скелетон. В некоторых исследованиях утверждается [5, 6], что скелетон не только без лишних деталей позволяет визуализировать структуру анализируемого временного ряда, но и содержит всю информацию о нем. В случае если скелетон не отражает требуемой информации, это сигнал оператору о необходимости изменения параметров вейвлет-анализа, в первую очередь типа или порядка вейвлет-базиса, или диапазона исследуемых частот. Возможность изменения диапазона исследуемых частот поддерживается рассматриваемым алгоритмом.

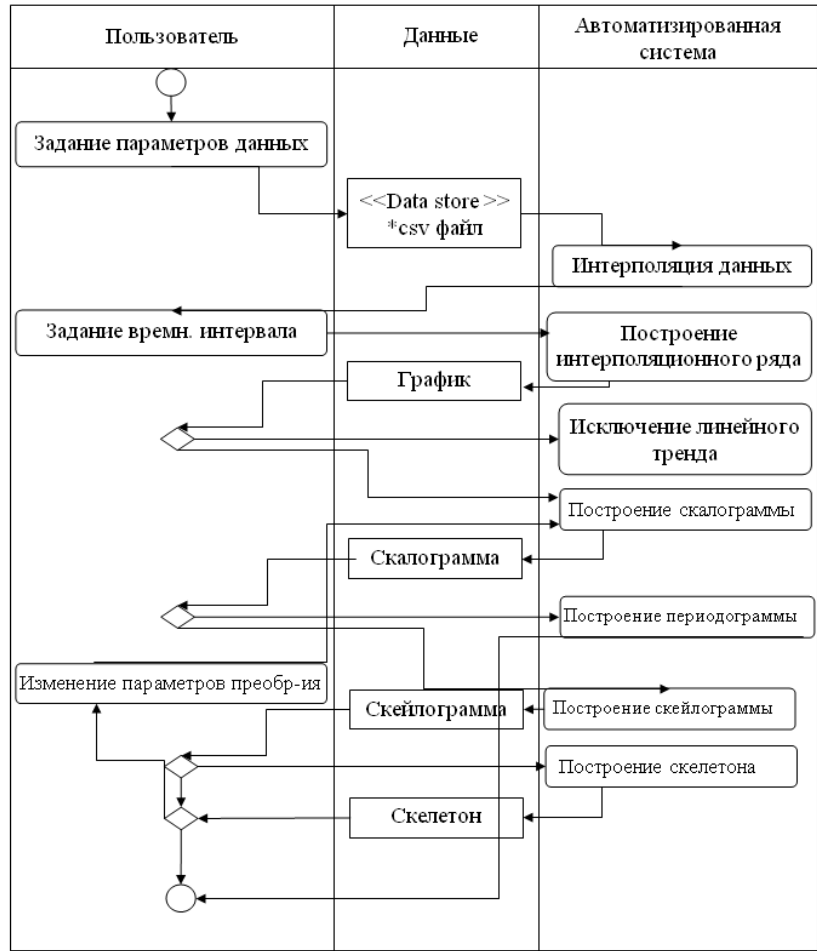


Рисунок 1 – Алгоритм анализа ПКЭ на основе вейвлет-анализа

**Структура автоматизированной системы анализа ПКЭ.** Программа для автоматизированной системы анализа ПКЭ написана на языке Python. Выбор именного этого языка обусловлен тем, что он позволяет использовать внешние компоненты без изменения их исходного кода.

NumPy – библиотека с открытым исходным кодом, в которой реализованы численные алгоритмы и работа с матрицами. SciPy – библиотека инженерных и научных алгоритмов для языка Python. В частности, из него произведен импорт функций для исключения линейного тренда, вейвлет-базиса Пауля, DOG и гамма-функции. Matplotlib – библиотека для построения и визуализации 2D графиков программного кода (рисунок 2).

GUI – графический интерфейс пользователя. Служит для доступа оператора ко всем видимым экранным объектам и осуществления непосредственного управления ими. Qt 4 – кроссплатформенный фреймворк для разработки программного обеспечения на языке программирования C++. Для использования его совместно с языком Python используется интерфейс PyQt. Все описанные модули поставляются с исходным кодом Python и доступны для использования в инженерных или научных проектах.

Для упрощения создания и отладки код программы разбит на несколько модулей. GUI – модуль содержащий классы и формы, необходимые для построения графического интер-

фейса пользователя. Wavelet – модуль, содержащий классы и вейвлет-базисы, необходимые для организации непрерывного вейвлет-преобразования. Painter – модуль предназначенный для построения скейлограммы, скалограммы, и спектральной плотности мощности. Loader – модуль, содержащий классы, необходимые для загрузки исходных данных и их импорта в программу. Этот модуль по общему интерфейсу шлюза (CGI) связывается с внешним источником данных.

Отличительной особенностью разработанного программного обеспечения является широкий спектр вейвлет-базисов с регулируемыми параметрами их преобразования. Кроме этого, следует отметить графический интерфейс пользователя и способность программы работать более на разных аппаратных платформах и операционных системах (кроссплатформенность). Кроссплатформенность достигнута за счёт использования языка Python, позволяет не устанавливать лицензионного программного обеспечения, как, например, Matlab или MathCAD. Все вычисления требующие длительных математических расчётов организованы в фоновом режиме и отделены от интерфейса пользователя, тем самым достигается отзывчивость пользовательского интерфейса.

Разработанная автоматизированная система предназначена для анализа ПКЭ. Тем не менее, она может быть использована для исследования любых одномерных временных рядов, представленных в формате CSV. Процесс вейвлет-анализа полностью зависит от оператора, поскольку именно от его решений зависит выбор всех значимых параметров, от которых зависит результат работы системы. Все рутинные и наиболее трудоёмкие операции – загрузку исходных данных, построение скелетона, спектральной плотности мощности и другие – берет на себя программа. Отличительными особенностями разработанного программного обеспечения является широкий спектр вейвлет-базисов и изменяемых параметров их преобразования, кроссплатформенность и графический интерфейс на основе Qt.

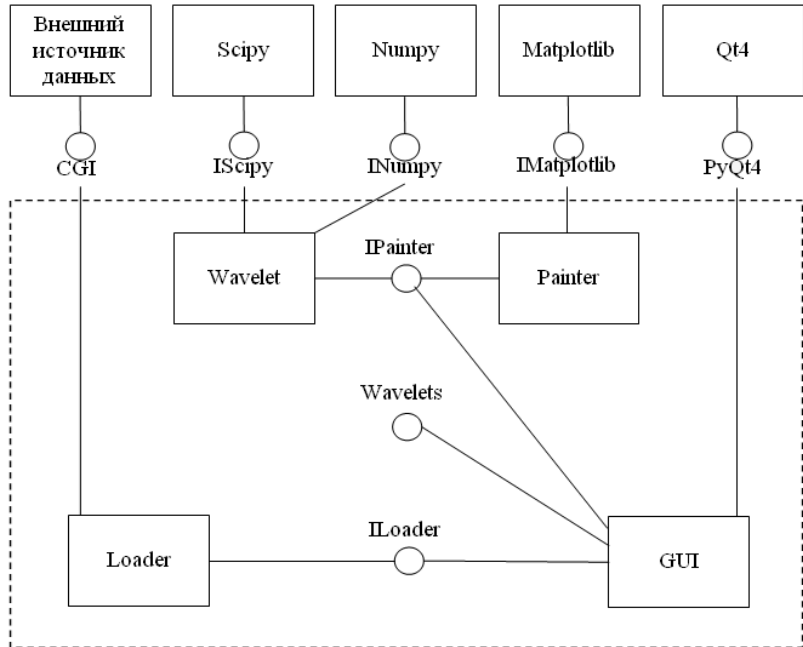


Рисунок 2 – Блочная структура автоматизированной системы анализа ПКЭ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Введ. 07-01-2014. -М.: Стандартинформ, 2014. -19 с.  
 2 Белицын, И.В. Качество электрической энергии, проблемы нормативной базы / И.В. Белицын // Межд. науч.-практ. конф.: Прикладные и теоретические исследования. -Самара: ЦНИК «Наука и просвещение», 2017. -С. 24-27.  
 3 Кузнецов, Н.М. Разработка системы мониторинга для измерения показателей качества электроэнергии на горных предприятиях / Н.М. Кузнецов, А.С. Семенов // -Фундаментальные исследования. -2013. -№4. -Ч.2. -С. 295-299.  
 4 Волошко, А.В. К вопросу использования вейвлет-преобразования для определения и оценки показателей качества электрической энергии / А.В. Волошко, А.Л. Харчук // -Энергетика: экономика, технологии, экология. -2013. -№1 (32). -С. 30-36.  
 5 Астафьева, Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения / Н.М. Астафьева // Успехи фи-

1 GOST 32144-2013. Electric power. Electromagnetic compatibility of technical devices. Power quality standards in general purpose power supply systems [Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoi energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya]. Moscow. Standartinform Publ. 2014. 19 p.  
 2 Belitsyn I.V. Electric power quality, problems of regulatory framework [Kachestvo elektricheskoi energii, problemy normativnoi bazy]. Mezhd. nauch.-prakt. konf.: Prikladnye i teoreticheskie issledovaniya. Samara, 2017. pp. 24-27.  
 3 Kuznetsov N.M., Semenov A.S., Development of monitoring systems for measuring electric power quality indicators at mining plants [Razrabotka sistemy monitoringa dlya izmereniya pokazatelei kachestva elektroenergii na gornykh predpriyatiyakh]. Fundamental'nye issledovaniya. 2013. No. 4. Vol. 2. pp. 295-299.  
 4 Voloshko A.V., Harchuk A.L., Revisiting the using wavelet decomposition for monitoring quality indicators of the electric power service [K voprosu ispol'zovaniya veivlet- preobrazovaniya dlya opredeleniya i otsenki pokazatelei kachestva elektricheskoi energii]. Energetika: ekonomika, tekhnologii, ekologiya. 2013. No. 1 (32). pp. 30-36.  
 5 Astafeva N.M. Wavelet analysis: theoretical framework and scope of applicability [Veivlet-analiz: osnovy teorii i primery prime-

зических наук. -1996. -№11. -Т.166. - С. 1145-1170.

6 ARM and DSP Based Device for Power Quality Monitoring / Genghuang Yang, Feifei Wang, Shigang Cui, Li Zhao // Advances in Electronic Engineering, Communication and Management. V.2. Lecture Notes in Electrical Engineering. -2012. -V.140. -pp. 163-168.

neniya]. Uspekhi fizicheskikh nauk. 1996. No. 11. Vol. 166. pp. 1145-1170.

6 Genghuang Yang, Feifei Wang, Shigang Cui, Li Zhao, ARM and DSP Based Device for Power Quality Monitoring. Advances in Electronic Engineering, Communication and Management: V.2. Lecture Notes in Electrical Engineering. 2012. Vol. 140. pp. 163-168.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** цифровая обработка временных рядов, алгоритм, качество электрической энергии, вейвлет-анализ

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Белицын Игорь Владимирович, канд. пед. наук, доцент АлтГТУ  
Хомутов Станислав Олегович, докт. техн. наук, профессор АлтГТУ  
Котугин Евгений Александрович, аспирант АлтГТУ

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 656038, г.Барнаул, пр.Ленина, 46, АлтГТУ

## **АЛГОРИТМ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

**И.В. Белицын**

**WAVELET TECHNOLOGIES BASED TIME SERIES ANALYSIS ALGORITHM FOR MONITORING QUALITY INDICATORS OF THE ELECTRIC ENERGY SERVICE**

Polzunov Altay State Technical University (AltSTU) 46, Lenina Ave., Barnaul, 656038, Russia  
Igor' V. Belitsyn (Ph.D. of Pedagogic Sciences, Assoc. Prof. of AltSTU)

**ABSTRACT:** Time series analysis algorithm is presented. It includes the input values interpolation, elimination of the linear trend pattern component, plotting the scalogram and skeleton. The article shows the effectiveness of its use on a specific case.

**Keywords:** time series digital processing, wavelet analysis, quality of the electric energy service

Представлен алгоритм анализа временных рядов. Он включает в себя интерполяцию исходных данных, исключение линейной составляющей тренда, построение скалограммы и скелетона. На конкретном примере показана эффективность его использования.

Основным недостатком методик для анализа временных рядов является то, что они не учитывают особенностей ПКЭ большой размерности, а также наличия пропусков, которые возможны при сбое используемого оборудования и помех в каналах передачи данных. В отличие от методик, предложенных в [1, 2], предлагается для заполнения небольших пропусков, всегда имеющих в реальных временных рядах такого типа, использовать интерполяцию и быстрое преобразование Фурье (БПФ), поскольку оно эффективно при анализе данных большой размерности. В методе, описанном в работе [3], для анализа ПКЭ используется дискретное вейвлет-преобразование, позволяющее анализировать временной ряд только по сдвигам и масштабам, равным степени три. В случае анализа ПКЭ непрерывное вейвлет-преобразование более целесообразно, хотя и обладает некоторой избыточностью, которая связана с непрерывным изменением параметра сдвига и масштабного коэффициента. В нашем случае это является достоинством, поскольку позволяет более чётко и полно проанализировать и представить содержащуюся в данных информацию. Поэтому в работе используется непрерывное вейвлет-преобразование.

Данные для анализа предоставляет автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) или специализированные системы непрерывного мониторинга ПКЭ [4]. В проектируемой автоматизированной системе оператор может послать запрос на внешний сервер, выбрав интересующий интервал времени, необходимые данные с требуемыми данными для заполнения форм. Далее эти формы при помощи Java-сервлетов обрабатываются на сервере. Java-сервлеты распределяют запросы на серверы базы данных и посылает обработанный результат пользователю.

Исходный временной ряд может содержать пропуски, связанные как с несовершенством используемой измерительной системы, так и каналов передачи данных, поэтому возникает необходимость их интерполяции. Характеристики исходного сигнала в общем случае не остаются постоянными: изменяется как амплитуда, так и форма. Для аппроксимации временного ряда  $f_n = f(t_n)$ , в моменты времени  $t_0, t_1, \dots, t_n$  имеющего значения  $f_0, f_1, \dots, f_n$  используем функцию кубического сплайна  $\varphi(t_n)$ , которая для интервала  $t \in [t_{i-1}, t_j]$  определяется как

$$\varphi_i(t) = a_i + b_i(t - t_{i-1}) + c_i(t - t_{i-1})^2 + d_i(t - t_{i-1})^3, \quad (1)$$

где  $a_i, b_i, c_i, d_i$  – значения коэффициентов сплайна;  
 $i = 1, 2, 3, \dots, n$  – порядковые номера сплайнов.

Значение коэффициентов сплайна можно находить различными методами, в работе они находятся методом подгонки [5]. Согласно ему

$$a_i = f_{i-1}; b_i = \frac{f_i - f_{i-1}}{h_i} \frac{c_{i+1} + 2c_i}{h_i/3},$$

где 
$$h_i = t_i - t_{i-1}; 1 \leq i \leq n; d_i = \frac{c_{i+1} - c_i}{3h_i}.$$

Оставшиеся коэффициенты выражаются только через коэффициенты

$$c_i = k_i - l_i c_{i+1}, \quad (2)$$

где  $l_i, k_i$  – подгоночные коэффициенты, определяемые рекуррентным соотношением

$$k_i = \frac{r_i - h_{i-1} k_{i-1}}{s_i - h_{i-1} k_{i-1}}; l_i = \frac{h_i}{s_i - h_{i-1} l_{i-1}}, \quad (3)$$

где  $s_i = 2(h_{i-1} - h_i)$ , при этом  $k_1 = 0, l_1 = 0$ .

При выполнении прямого хода в методе подгонки в первую очередь вычисляются подгоночные коэффициенты  $l_i, k_i$  по (3). После этого применяется последовательно формула (2), позволяющая определить численное значение коэффициентов  $c_i$ , далее вычисляются все оставшиеся коэффициенты сплайна.

Интерполирующая функция определяется с помощью (1) для любого момента времени  $t$  в интервале  $[t_0, t_n]$ . После интерполяции исходные данные заданы значениями функции  $f_k$ , которые следуют друг за другом с неизменным шагом  $\Delta t$ :

$$f_k = f(t_k); t_k = k\Delta t; k = 0, 1, \dots, N-1. \quad (4)$$

В разрабатываемом алгоритме обработки временного ряда предложено использовать как Фурье, так и вейвлет-преобразование. Это связано с тем, что для определенных временных интервалов исходных данных Фурье-анализ способен обеспечить достаточную информативность. Известно, что преобразование Фурье чувствительно к линейной составляющей тренда, так же, как и вейвлеты первого порядка. Следовательно, ее необходимо исключить из исходных данных. Для этого заменим исходные значения ряда (4) первыми последовательными разностями. Обозначим  $\bar{y}_t = y_t + \varepsilon_t$ ;  $\bar{y}_t = a + bt$ , где  $\varepsilon_t$  – отклонение от линейной составляющей тренда. Тогда последовательные разности примут вид

$$\Delta_t = y_t - y_{t-1} = a + bt + \varepsilon_t - [a + b(t-1) + \varepsilon_{t-1}] = b + (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}).$$

где  $b$  – постоянный коэффициент, не зависящий от времени.

В случае присутствия линейной составляющей тренда остатки  $\varepsilon_t$  не значительны и носят случайный характер. Следовательно, первые последовательные разности уровней временного ряда  $\Delta_t$  не зависят от времени, и их возможно использовать при дальнейшем анализе.

Постоянный коэффициент (среднее значение ряда)

$$b = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \Delta_t,$$

в этом случае центрированный ряд представим как

$$x_t = \Delta_t - b.$$

Спектральную плотность мощности определим на основе быстрого преобразования Фурье временного ряда  $x$  длиной  $N$  как

$$X_m = \sum_{n=0}^{N/2-1} x_{2n} a_{N/2}^{nm} + \exp\left(-\frac{2\pi i}{N} m\right) \sum_{n=0}^{N/2-1} x_{2n+1} a_{N/2}^{nm}; m = 0, 1, \dots, N-1, \quad (5)$$

с использованием алгоритма Кули-Тьюки [6]. После преобразования Фурье (5) спектральную плотность мощности определим как

$$D_j = \frac{1}{N^2} \left[ (\operatorname{Re} X_j)^2 + (\operatorname{Im} X_j)^2 \right]; j = 0, 1, \dots, N/2.$$

При нечётном значении  $N$  вычислительная процедура продолжается до  $N/2 + 0,5$ . От-

счёты спектральной плотности мощности соответствуют частотам

$$\nu_j = \Delta \nu j; j = 0, 1, \dots, N/2,$$

где

$$\Delta \nu = \frac{1}{N \Delta t}.$$

В качестве примера рассмотрим гармоническое колебание со сбоем фазы в точке 400 (рисунок 1). На рисунке 2 показаны спектры мощности гармонического колебания и колебания со сбоем, их сравнение показывает, что второй процесс не является гармоническим, и не позволяет локализовать эту особенность по спектру.

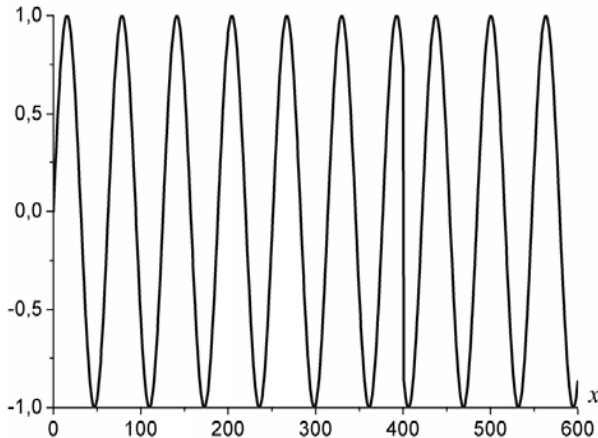


Рисунок 1 – Синусоида со сбоем фазы

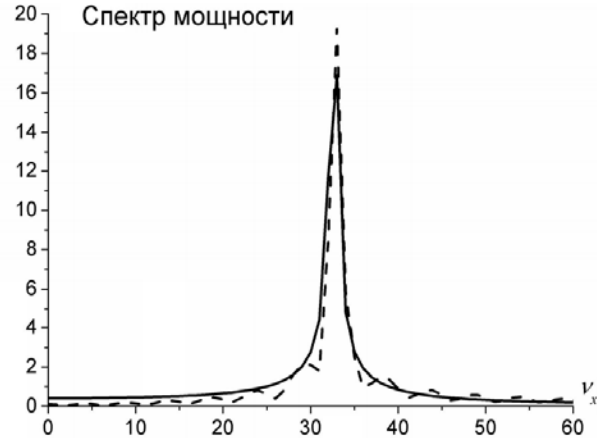


Рисунок 2 – Спектральная плотность мощности для гармоники (сплошная линия) и гармоники со сбоем фазы (штрих)

Вейвлет-преобразование, представляющее обобщенный спектральный анализ, основано на разложении

$$W(a, b) = \frac{1}{n(a, b)} \sum_{k=0}^{N-1} f_k(t) \psi^* \left( \frac{t_k - b}{a} \right), \quad (6)$$

где

$$n(a, b) = \sum_{k=0}^{N-1} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{t_k - b}{a} \right)^2 \right].$$

Вейвлет-разложение (6) определяется для аргументов  $a_i$  и  $b_i$ , где  $i = 0, 1, \dots, N_a - 1$ ,  $b = 0, 1, \dots, N_b - 1$ . Используя (6), можно оценить локальный спектр энергии (скалограмма)

$$S(a_i, b_j) = |W_A(a_i, b_j)|^2, \quad (7)$$

- где  $a$  – параметр масштаба, определяющий размер вейвлета;
- $b$  – параметр сдвига, задающий временную локализацию вейвлета;
- $\psi^*$  – комплексно сопряженная базисная вейвлет-функция.

В таблице приведены широко употребляемые при преобразовании вейвлет-базисы [7].

Таблица – Основные вейвлет-базисы

Название	Определение	Фурье-образ
DOG (derivative of a Gaussian)	$\psi_m(t) = (-1)^m \partial_t^m \exp(-t^2/2)$ , где $\partial_t^m = \partial^m [\dots] / \partial t^m$ , $m \geq 1$	$\hat{\psi}_m(k) = m(ik)^m \exp\left(-\frac{k^2}{2}\right)$
Пауля	$\psi(t) = (m+1) \frac{i^m}{(1-it)^{m+1}}$	$\hat{\psi}(t) = \theta(k) k^m \exp(-k)$
Морли	$\psi(t) = \exp(ik_0 t) \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)$	$\hat{\psi}(t) = \theta(k) \exp\left(-\frac{(k-k_0)^2}{2}\right)$ , где $\theta(k)$ - функция Хевисайда

Выбор вейвлет-базиса, зависит от того, какую информацию необходимо извлечь из временного ряда. Каждый вейвлет-базис имеет свои особенности в частотном и временном пространстве, поэтому с помощью разных вейвлет- базисов можно выявить и подчеркнуть

специфические свойства анализируемого временного ряда. В частности, из DOG при  $m=2$ , получается МНАТ-вейвлет («Мексиканская шляпа»), имеющий узкий энергетический спектр. МНАТ-вейвлет можно использовать для анализа сложных временных рядов, поскольку коэффициенты  $W(a, b)$  зависят от малого интервала области частот вейвлета.

При использовании вейвлета Пауля большому  $m$ , соответствует большее число нулевых моментов этого вейвлет-базиса. Вейвлет Морли это плоская волна, модулированная гауссианом единичной ширины. При увеличении  $k_0$  происходит увеличение частотной избирательности базиса, но снижается временное разрешение вейвлет-анализа. Следует отметить, что у вейвлета Морле нулю равен только центральный (нулевой) момент, поэтому он обладает чувствительностью к линейной составляющей тренда. В предлагаемой автоматизированной системе пользователю предоставляется выбор любого из описанных выше вейвлет-базисов.

Результаты прямого вейвлет преобразования часто представляют в виде скейлограмм. Скейлограмма для оценки глобального спектра энергии

$$G(a_i) = \frac{1}{N'} \sum_j S(a_i, b_j),$$

где  $N'$  – количество точек осреднения.

Скейлограмма является аналогом сглаженной периодограммы получаемой при анализе Фурье. Скейлограмма может содержать широкие контуры линий близких по частоте, мешающие проследить за изменением частоты во времени. Для уменьшения влияния контуров, предлагается построить скелетон. Для этого в тех точках скалограммы, в которых она имеет экстремальные значения по параметру масштаба  $a$  и сдвига  $b$

$$Sc(a_i, b_j) = \begin{cases} S_{ij}, & \text{если } S_{i-1, j} < S_{ij} > S_{i+1, j} \text{ или} \\ S_{ij}, & \text{если } S_{i, j-1} < S_{ij} > S_{i, j+1}, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (8)$$

где  $S_{ij} = S(a_i, b_j)$ .

Таким образом, эффективность и адекватность разработанного алгоритма и программного обеспечения показана на примере анализа синусоиды со сбоем фазы. В частности, установлено, что спектральная плотность мощности гармоник и гармоник со сбоем отличается друг от друга. Особое внимание необходимо уделять подбору вейвлета для проведения анализа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кузнецов, Н.М. Разработка системы мониторинга для измерения показателей качества электроэнергии на горных предприятиях / Н.М. Кузнецов, А.С. Семенов // - Фундаментальные исследования. -2013. -№4. -Ч.2. -С. 295-299.
- 2 Витязев, В.В. Вейвлет-анализ временных рядов: учеб. пособие / В.В. Витязев. -СПб.: Изд-во С.-Петербур. гос. унив, 2001. -58 с.
- 3 Gilbert, p. Compo. A Practical Guide to Wavelet Analysis Christopher Torrence / p. Compo Gilbert // In Bulletin of the American Meteorological Society: Amer. Meteor. Soc. (1 January 1998). -Vol. 79, -No. 1. -P. 61-78.
- 4 Белицын, И.В. Мониторинг магнитного поля воздушных линий электропередач на основе ИИС блочно-модульной конструкции / И.В. Белицын // -Ползуновский вестн. -2011. - №2/2. -С.56-65.
- 5 Воробьев, В.И. Теория и практика вейвлет-преобразования / В.И. Воробьев, В.Г. Грибунин. -СПб.: ВУС, 1999. -204 с.
- 6 Захарова, Т.В. Вейвлет-анализ и его приложения: учеб. пособие / Т.В. Захарова, О.В. Шестаков. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: ИНФРА-М, 2012. -158 с.
- 7 Scargle, Jeffrey D. Wavelet and Other Multi-resolution methods for Time Series Analysis. Statistical Challenges in Modern Astronomy II / Ed. G.J. Babu and E.D. Ferigelson. -New York: Springer-Verlag. -P. 333-347.

#### REFERENCES

- 1 Kuznetsov N.M., Semenov A.S., Development of monitoring systems for measuring electric power quality indicators at mining plants [Razrabotka sistemy monitoringa dlya izmereniya pokazateley kachestva elektroenergii na gornyykh predpriyatiyakh]. Fundamental'nye issledovaniya. 2013. No. 4. Vol. 2. pp. 295-299.
- 2 Vityazev V.V., Wavelet analysis of time series [Veyvlet-analiz vremennykh ryadov]. St. Petersburg: St. Petersburg state univ. Publ. 2001. 58 p.
- 3 Gilbert, p. Compo, A Practical Guide to Wavelet Analysis Christopher Torrence. In Bulletin of the American Meteorological Society: Amer. Meteor. Soc. 1 Jan. 1998. Vol. 79, No. 1. pp. 61-78.
- 4 Belitsyn I.V., Monitoring of overhead power lines magnetic field based on modular data measurment system [Monitoring magnitnogo polya vozdushnykh liniy elektroperedach na osnove IIS blochno-modul'noy konstruktсии]. Polzunovskiy vestnik. 2011. No. 2/2. pp. 56-65.
- 5 Vorob'ev V.I., Gribunin V.G., Theory and practice of wavelet decomposition [Teoriya i praktika veyvlet-preobrazovaniya]. St. Petersburg: VUS Publ., 1999. 204 p.
- 6 Zakharova T.V., Shestakov O.V., Wavelet analysis and its applications [Veyvlet-analiz i ego prilozheniya]. Moscow: INFRA-M Publ. 2012. 158 p.
- 7 Scargle Jeffrey D., Wavelet and Other Multi-resolution methods for Time Series Analysis. Statistical Challenges in Modern Astronomy II. Springer-Verlag New York Publ. 1997. pp. 333-347.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** качество электрической энергии, вейвлет-анализ, цифровая обработка временных рядов  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Белицын Игорь Владимирович, канд. пед. наук, доцент АлтГТУ  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 656038, г.Барнаул, пр.Ленина, 46, АлтГТУ



## СРАВНЕНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НЕСИММЕТРИИ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

И.В. Белицын

COMPARISON OF MEASURES TO ELIMINATING UNBALANCE IN OVERHEAD EHV TRANSMISSION LINES  
Polzunov Altay State Technical University (AltSTU) 46, Lenina Ave., Barnaul, 656038, Russia  
Igor' V. Belitsyn (Ph.D. of Pedagogic Sciences, Assoc. Prof. of AltSTU)

**ABSTRACT:** The issue of asymmetry in 3-phase electric power system is considered, to propose practical recommendations for improving the quality of the electric energy service. A method of balancing the transmission line is proposed, by changing the height of the wire suspension. As a practical example, 500 kV horizontal power transmission is considered.

**Keywords:** quality of the electric energy service, electric power transmission line, electromagnetic capability, EM field, voltage unbalance

Рассмотрена проблема несимметрии трехфазной системы напряжений, с целью предложения практических рекомендаций для повышения качества электрической энергии. Предложен способ симметрирования линии электропередачи путем изменения высоты подвеса проводов. В качестве конкретного практического примера рассмотрена линия электропередачи напряжением 500 кВ с горизонтальным расположением проводов.

В настоящее время большое значение придается вопросам электромагнитной совместимости (ЭМС) в электроэнергетике [1, 2]. Актуальной задачей является снижение несимметрии напряжения в электрических сетях. Одним из источников постоянной несимметрии напряжения являются разные значения ёмкости различных фаз линии электропередачи. Для выравнивая ёмкостей необходим всесторонний учёт и анализ всех факторов, влияющих на параметры электромагнитного поля, создаваемой воздушной линией электропередачи.

В основе расчёта любых электромагнитных полей лежит решение системы уравнений Максвелла в интегральной либо в дифференциальной форме. Их решение может быть произведено либо аналитическими, либо численными методами. Применение аналитических методов расчёта полей, таких как метод зеркальных отображений; метод разделения переменных, метод комплексного потенциала, целесообразно при небольшом количестве проводников простой конфигурации [3, 4] и однородной или кусочно-однородной средой, что нельзя сказать об электроустановках. Для использования аналитических методов иногда упрощают геометрию электроустановок, идеализируют свойства материалов и окружающей среды.

Методика расчёт напряженности электрического поля с учётом стрелы провеса и опор линии электропередачи подробно изложен в [5]. Сущность методики заключается в решении системы интегральных уравнений, описывающей электрическое поле, используя квадратурные формулы (конечные суммы). То есть в замене системы интегральных уравнений аппроксимирующей её системой алгебраических линейных уравнений (СЛАУ) для дискретных значений неизвестной функции, с последующим её решением [6].

Используя такой подход для описания электрического поля линии электропередачи переменного тока необходимо решить СЛАУ вида

$$\begin{cases} [\alpha_{ij}] [\dot{\tau}_i] = [0]; \\ [\alpha_{ij}] [\dot{\tau}_i] = [\phi'_i]. \end{cases} \quad (1)$$

С учётом комплексного характера линейных зарядов и потенциалов система (1) представляется в виде двух систем, первая из которых определяет действительную часть зарядов, вторая мнимую:

$$\begin{cases} [\alpha_{ij}] [\operatorname{Re}(\dot{\tau}_i)] = [0]; \\ [\alpha_{ij}] [\operatorname{Re}(\dot{\tau}_i)] = [\operatorname{Re}(\phi'_i)]; \\ [\alpha_{ij}] [\operatorname{Im}(\dot{\tau}_i)] = [0]; \\ [\alpha_{ij}] [\operatorname{Im}(\dot{\tau}_i)] = [\operatorname{Im}(\phi'_i)], \end{cases} \quad (2)$$

После определения линейных зарядов каждого элементарного элемента проводника

можно определить собственные фазные ёмкости [7].

Выявление эффективности мероприятий по выравниванию электрических зарядов по фазам рассмотрим на примере ВЛЭП 500 кВ, выполненной опорами, изображенными на рисунке 1.

Эквивалентная высота подвеса проводов была принята равной 15 м, эквивалентный радиус фаз – равным 0,16 м для провода АС-400 и числом проводников в расщепленной фазе – 3. Расстояние между фазами 12 м. Расчеты и графические зависимости проводились в специально разработанной программе [8].

Введем коэффициент  $K$ , показывающий отношение эквивалентного радиуса крайней фазы к эквивалентному радиусу средней фазы. Зависимости электрических параметров, приведенные в процентном отношении к параметрам средней фазы, от коэффициента  $K$ , представлены на рисунке 2.

Из графика следует, что модули зарядов не отличаются друг от друга на всех фазах в случае, если эквивалентный радиус крайних фаз в 1,53 раза превышает эквивалентный радиус средней фазы, или если высоту средней фазы увеличить на 8,2 м. Рабочие ёмкости всех фаз одинаковы при условии, если отношение эквивалентного радиуса крайней фазы к эквивалентному радиусу средней фазы равно 1,57, или при увеличении высоты средней фазы на 8,6 м.

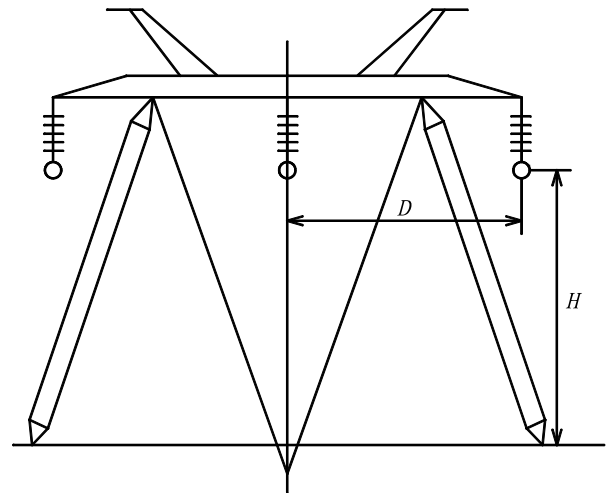


Рисунок 1 – Схема опор для линии переменного тока напряжением 500 кВ

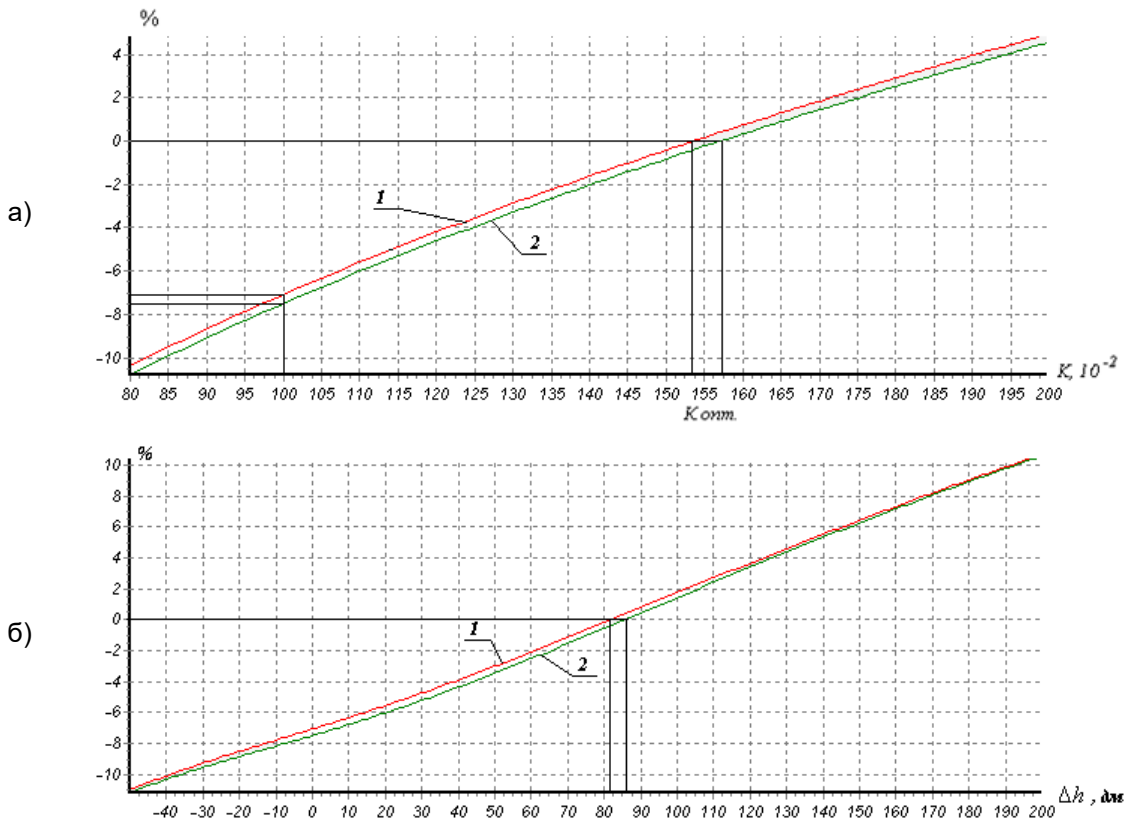


Рисунок 2 – Зависимость электрических параметров от: а) отношения эквивалентного радиуса крайней фазы к эквивалентному радиусу средней фазы; б) изменения высоты подвеса средней фазы  $\Delta h$ ; 1 – отклонение заряда на крайних фазах в процентном отношении от заряда на средней фазе  $(|\tau_{cp} - \tau_{кр}|/|\tau_{cp}|)100\%$ ; 2 – отклонение рабочей ёмкости на крайних фазах в процентном отношении от рабочей ёмкости на средней фазе  $(|C_{cp} - C_{кр}|/|C_{cp}|)100\%$

В силу геометрической симметрии заряд и потенциал на средней фазе совпадают друг с другом, то есть разность фаз между ними равна нулю. Зависимости разности модуля аргументов заряда и потенциала крайних фаз  $|\varphi_r - \varphi_U|$  от  $K$  и изменения высоты подвеса средней фазы приведены на рисунке 3 и 4.

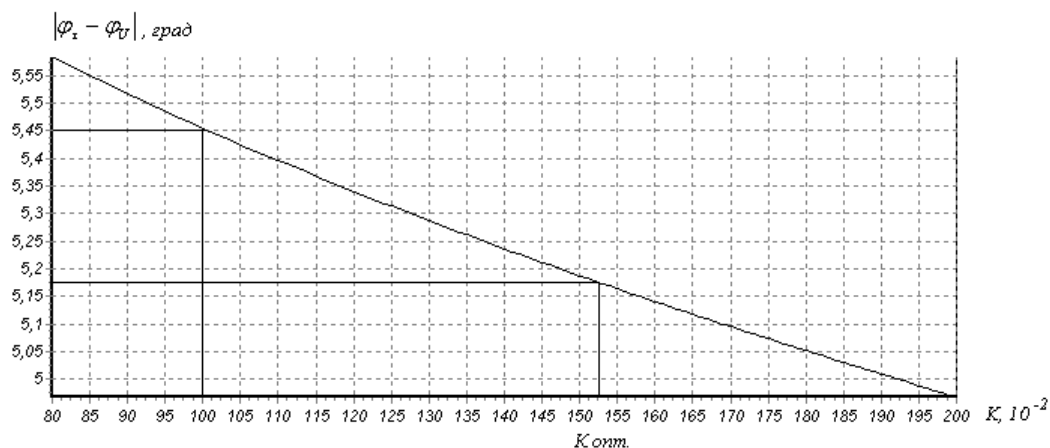


Рисунок 3 – Зависимость модуля разности аргументов заряда и потенциала крайних фаз  $|\varphi_r - \varphi_U|$  от отношения эквивалентного радиуса крайней фазы к эквивалентному радиусу средней фазы

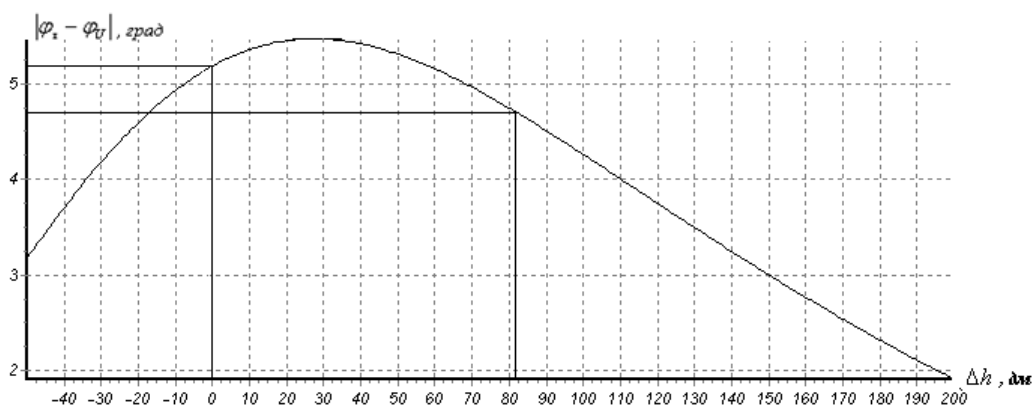


Рисунок 4 – Зависимость разности модуля аргументов заряда и потенциала крайних фаз  $|\varphi_r - \varphi_U|$  от изменения высоты подвеса средней фазы  $\Delta h$

**Обсуждение результатов.** Из графиков следует, что при оптимальном отношении эквивалентных радиусов крайней и средней фазы, модуль разности аргументов заряда и потенциала крайних фаз уменьшается по сравнению с первоначальным значением, равным 5,45, до 5,17 градусов или на 5%.

Расчеты были выполнены для ЛЭП 500 кВ с промежуточными опорами на оттяжках типа ПБ1 с параметрами: эквивалентная высота подвеса проводов 15 м, эквивалентный радиус фаз 0,16 м (для провода АС-400 и числом проводников в расщепленной фазе 3), расстояние между фазами 12 м.

**Выводы:**

1 Последовательность расположения фаз не влияет на зависимость электрических параметров от отношения эквивалентного радиуса крайней фазы к эквивалентному радиусу средней фазы.

2 Для выравнивания ёмкостей каждой фазы, в первую очередь, необходимо ориентироваться на выравнивание модулей заряда, а не их аргументов.

3 Рабочие ёмкости всех фаз одинаковы при условии, если отношение эквивалентного радиуса крайней фазы к эквивалентному радиусу средней фазы равно 1,57, или при увеличении высоты средней фазы на 8,6 м.

4 Предложенный способ выравнивания ёмкостей может быть распространен на другие классы напряжений и типы опор, в частности на распределительные электрические сети высокого напряжения сельскохозяйственного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Дубицкий, М.А. Качество электрической энергии / М.А. Дубицкий, Е.А. Сухарева // -Вестн. Иркут. гос. техн. унив. -2015. -№4 (99). -С. 152-157.

2 Белицын, И.В. Мониторинг магнитного поля воздушных линий электропередач на основе ИИС блочно-модульной конструкции / И.В. Белицын // -Ползуновский вестник. -2011. -№2/2. -С. 56-65.

3 Белицын, И.В. Перспективные методы расчета и моделирования, электромагнитных полей установок высокого напряжения / И.В. Белицын, Р.С. Старухин, С.А. Урвачев // Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах: сб. статей VII Межд. науч.-практ. конф. -Пенза: Изд-во Пенз. гос. унив. арх. и строительства, 2006. -С. 221-223.

4 Миролюбов, Н.Н. Методы расчета электростатических полей / Н.Н. Миролюбов, Н.В. Костенко, М.Л. Левинштейн, Н.Н. Тиходеев. -М.: Высш. шк., 1963. -416 с.

5 Белицын, И.В. Алгоритм расчета электрического поля ВЛЭП на основе метода эквивалентных зарядов / И.В. Белицын, А.В. Макаров // -Ползуновский вестник. -2007. -№4. -С. 134-141.

6 Марчук, Г.И. Методы вычислительной математики / Г.И. Марчук. -СПб.: Лань, 2009. -608 с.

7 Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле / Л.А. Бессонов. -М.: Юрайт, 2016. -320 с.

1 Dubitskiy M.A., Sukhareva E.A., Electric power quality [Kachestvo elektricheskoy energii]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2015. No. 4 (99). pp. 152-157.

2 Belitsyn I.V., Monitoring of overhead power lines magnetic field based on modular data measurment system [Monitoring magnitnogo polya vozduzhnykh liniy elektroperedach na osnove IIS blochno-modul'noy konstruksii]. Polzunovskiy vestnik. 2011. No. 2/2. pp. 56-65.

3 Belitsyn I.V., Starukhin R.S., Urvachev S.A., Perspective methods of calculation and modeling of electromagnetic fields in high voltage installations [Perspektivnye metody rascheta i modelirovaniya, elektromagnitnykh poley ustanovok vysokogo napryazheniya]. Problemy energosberezeniya i ekologii v promyshlennom i zhilishchno-kommunal'nom kompleksakh. Penza: Penza st. univ. of arch. and construction Publ. 2006. pp. 221-223.

4 Mirolyubov N.N., Kostenko N.V., Levinshteyn M.L., Tikhodeev N.N., Methods of electrostatic fields' calculation [Metody rascheta elektrostaticheskikh poley]. Moscow: High School Publ. 1963. 416 p.

5 Belitsyn I.V., Makarov A.V., Calculation algorithm of electric field created by overhead power line based on equivalent charge method [Algoritm rascheta elektricheskogo polya VLEP na osnove metoda ekvivalentnykh zaryadov]. Polzunovskiy vestnik. 2007. No. 4. pp. 134-141.

6 Marchuk G.I., Methods of numerical mathematics [Metody vychislitel'noy matematiki]. St. Petersburg: Lan' Publ. 2009. 608 p.

7 Bessonov L.A., Fundamental of electrical engineering. Electromagnetic field [Teoreticheskie osnovy elektrotekhniki. Elektromagnitnoe pole]. Moscow: Yurayt Publ. 2016. 320 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *качество электрической энергии, линия электропередачи, электромагнитная совместимость, электромагнитное поле, несимметрия напряжения*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Белицын Игорь Владимирович, канд. пед. наук, доцент АлтГТУ*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *656038, г.Барнаул, пр.Ленина, 46, АлтГТУ*

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ СО СВЕРХПРОВОДНИКОВОЙ ОБМОТКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D МОДЕЛИ

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

**В.З. Манусов, М.Х. Назаров**

**DESIGN OF POWER TRANSFORMERS WITH SUPERCONDUCTING WINDING USING 3D MODELING**  
 Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia  
**Vadim Z. Manusov** (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of NSTU)  
**Muso Kh. Nazarov** (Graduate student of NSTU)

**ABSTRACT:** The article indicates some aspects of design and design principles of transformers with a high-temperature superconducting (HTSC) winding. Authors carried out comparative analysis of high-temperature superconductors and traditional transformers. Results show the advantage of using HTSC transformers in compare to traditional ones.

**Keywords:** *transformer, HTSC winding, power loss, energy efficiency, liquid nitrogen, core, critical current*

Рассмотрены некоторые аспекты проектирования и принципы конструирования трансформаторов с высокотемпературной сверхпроводящей (ВТСП) обмоткой, а также выполнен сравнительный анализ ВТСП и традиционных трансформаторов. Результаты работы показывают преимущество использованные ВТСП трансформаторов по отношению к традиционными.

В настоящее время сверхпроводящие трансформаторы с ВТСП обмотками (ВТСП-трансформаторы) проектируются и тестируются с использованием некоторых прототипов. В данной работе разработан сверхпроводящий трансформатор путем значительных изменений его конструкции, а именно изменение величины напряжения на виток или сопротивление утечки. Выделены особенности конструкции ВТСП трансформаторов и проведена сравнение результатов с теми же параметрами традиционных трансформаторов.

Однако, скорее всего еще не сделаны самые важные выводы о пользе применения ВТСП-трансформаторов, хотя бы потому, что еще не установлены достаточно точные принципы конструирования таких трансформаторов.

Ниже предлагается метод конструирования ВТСП-трансформатора, полученный путем модификации расчета традиционных трансформаторов (ТТ). Сконструировано несколько ВТСП-трансформаторов различной мощности, при изменении таких параметров как вели-

чина напряжения на виток, сопротивление утечки, плотность тока и коэффициент плотности укладки проводника. Выполнено сравнение этих трансформаторов.

*Принципы конструирования традиционных трансформаторов.* За основу приняты следующие основные принципы конструирования обычных трансформаторов:

– Величины напряжения на виток выбираются приблизительно равными квадратному корню из мощностей;

– Напряжение короткого замыкания трансформатора выбирается в соответствии со стандартными значениями, предлагаемыми производителями;

– Изоляционный зазор обмоток определяется с учетом величины измеренного напряжения в трансформаторах и электрической прочности диэлектриков изоляционных материалов;

– Массы сердечника и меди трансформатора выбираются таким образом, чтобы их общая стоимость была минимальной.

*Принципы конструирования ВТСП-трансформаторов.* Основные условия, которые учитываются при конструировании ВТСП-трансформатора, приведены далее:

*Потери в проводниках.* Принято, что потери активной мощности в применяемой конструкции сверхпроводников равны нулю при переменной магнитной индукции  $B$  достигающей максимального значения величиной 0,5 Тл. Будем считать также, что величина потерь прямо пропорциональна квадрату  $B$ . Распределение магнитной индукции в обмотках принято в соответствии с рисунок 1.

Максимальное значение магнитной индукции  $B_m$  определяется следующим образом

$$B_m = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\sqrt{2} \cdot I \cdot N}{h_k}, \text{ Тл}, \quad (1)$$

где  $I$  – это величина действующего тока;

$N$  – число витков;

$h_k$  – высота обмотки.

*Потери в сердечнике.* В предположении, что сердечник не охлаждается жидким азотом потери холостого хода в нем сохраняются как в традиционном трансформаторе. В дальнейшем можно рассмотреть выполнения сердечника из аморфного железа и его совместного охлаждения с обмотками, тогда они будут снижены почти до нуля.

*Тепловые потери.* Расчет этих потерь необходим для оценки коэффициента полезного действия (КПД) трансформатора. Тепловые потери  $q$  через силовой провод находятся следующим образом

$$q = \frac{A}{l} \int_{T_2}^{T_1} \lambda p(T) dt = \frac{A}{l} \cdot Q \cdot P_1, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения, мм<sup>2</sup>;

$l$  – длина силового провода

$$l = 2\pi D_o + 0,5, \text{ м},$$

$D_o$  – это внешний диаметр обмоток;

$\lambda$  – теплопроводность силового провода, Вт/(м·°С);

$T_1, T_2$  – температура криогена и комнатная температура силового провода соответственно, К;

$p(T)$  – коэффициент потерь охлаждения при  $T$ ;

$Q$  – коэффициент для расчета тепловых потерь;

$P_1$  – потери на охлаждение силового провода.

Общие тепловые потери  $Q_L$  для  $n$ -проводников составляют

$$Q_L = n \cdot q, \text{ Вт}. \quad (3)$$

*Тепловые потери криостата.* Предполагаем, что в день испаряется 5% азота, тогда тепловые потери  $Q_N$  для трехфазного трансформатора можно определит следующим образом

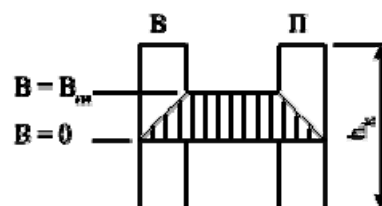


Рисунок 1 – Распределение магнитного потока в обмотках: П -первичная обмотка; В -вторичная обмотка

$$Q_N = (V_h - V_c) 10^3 \cdot 3 \cdot 0,05 \cdot W_h, \text{ Вт}, \quad (4)$$

где  $V_h$  – объем сосуда с азотом, см<sup>3</sup>;

$V_c$  – объем одной фазы обмотки, см<sup>3</sup>;

$W_h$  – скрытое количество теплоты, соответствующее испарению 1 л жидкого азота в день, примерно 20,7 Вт/л в день.

Стоимость ВТСП-трансформатора определяется общей стоимостью сердечника и проводников, которая определяется соотношением этих величин у обычного трансформатора той же номинальной мощности. Принимается полное сопротивление 5% а величина вольт на виток – 5 В. Стоимость сердечника и проводника рассчитывается следующим образом:

Плотность тока составляет 3,5 А/мм<sup>2</sup> для медного проводника. Стоимость 1 амперметра провода (проводник длиной 1 м, проводящий ток величиной 1 А) определяется в соответствии с стоимостью медных проводов. Для сверхпроводника стоимость принимается на 20% больше чем у медных проводников.

Стоимость сердечника принимается как сумма стоимостей материала и изготовления.

Изоляционный зазор обмоток может быть определен с учетом имеющихся данных о напряжениях пробоя жидкого азота и масла [1]

$$d = aU + b, \quad (5)$$

где  $a, b$  – соответствуют величинам, приведенным в таблице 1;

$U$  – это тестовое переменное напряжение обмотки высокого напряжения, кВ.

Таблица 1 – Коэффициенты изоляционных зазоров

Изоляционное расстояние	Жидкий азот		Масло	
	$a$	$b$	$a$	$b$
Первичная относительно вторичной	0,07	0,4	0,10	0,4
Вторичная относительно сердечника	0,07	0,5	0,10	0,4
Между фазами	0,07	1,1	0,10	1,0

Основные формулы, которые использованы для определения параметров ВТСП-трансформатора.

Полное сопротивление трансформатора

$$Z_T = \frac{U_{k\%} \cdot U_{ВН\text{ ном}}^2}{100 \cdot S_{\text{ном}}}, \quad (6)$$

где  $U_{k\%}$  – напряжение короткого замыкания;

$U_{ВН\text{ ном}}$  – номинальное междуфазное напряжение высокой стороны трансформатора;

$S_{\text{ном}}$  – номинальная мощность трансформатора.

Активное сопротивление традиционного трансформатора

$$R_T = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{ВН\text{ ном}}^2}{S_{\text{ном}}^2}, \quad (7)$$

где  $\Delta P_{кз}$  – потери короткого замыкания.

Тогда индуктивное сопротивление равно

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 + R_T^2}. \quad (8)$$

Активная и реактивная проводимости ВТСП-трансформатора

$$G_T = \frac{\Delta P_{xx}}{U_{ВН\text{ ном}}^2}; B_T = \frac{\Delta Q_{xx}}{U_{ВН\text{ ном}}^2}, \quad (9)$$

где  $\Delta P_{xx}$  – потери холостого хода.

Потери реактивной мощности холостого хода ВТСП-трансформатора

$$\Delta Q_{xx} = \frac{I_{xx\%}}{100} S_{\text{ном}}, \quad (10)$$

где  $I_{xx\%}$  – ток холостого хода.

В качестве основного выбран расчет ВТСП-трансформатора мощностью  $S = 25$  МВА напряжения высокой и низкой стороны  $U_{ВН} = 115$  кВ и  $U_{НН} = 10,5$  кВ. Схема соединения трансформатора  $Y/\Delta$ . Для сверхпроводящего состояния принимаем  $R_m = 0$  Ом.

Магнитная система сверхпроводящего трансформатора аналогична, как и для трансформатора традиционного исполнения. Поэтому при расчетах можно использовать вышеприведенные формулы.

Однако, основную особенностью ВТСП-трансформаторов является существования критического тока, при превышении которого проводник переходит в нормальное, несверхпроводящее состояние. Так как в нормальном состоянии проводник обладает конечным электрическим сопротивлением, то после перехода возникает рассеяние (диссипация) энергии тока, приводящее к нагреву проводника

$$I_C = I'_C \cdot K_{зап}, \quad (12)$$

где  $I'_C$  – критический ток для проводника;

$K_{зап}$  – коэффициент запаса.

Критический ток  $I'_C$  задается при использовании проводника на постоянном токе. В связи с этим введем коэффициент запаса  $K_{зап}$ , который учитывает применение проводов на переменном токе в присутствии внешних полей. При применении проводов на переменном токе их критический ток снижается до 0,4-0,8 от критического тока при применении проводника на постоянном токе. Примем  $K_{зап} = 0,8$ .

Принимаем из каталога ленту SF12050. Критический ток при температуре 77 К  $i'_C$  – 250 А. При этом плотность тока для данной ленты составляет 10400 А/см<sup>2</sup>.

$$I_C = 250 \cdot 0,8 = 200 \text{ А}.$$

Сверхпроводящая лента, используемая в качестве проводников обмоток, имеет толщину и высоту, которые обозначим  $t_n$  и  $h_n$  соответственно

$$t_n = 0,1 \text{ мм}; \quad h_n = 12 \text{ мм}.$$

Важно отметить, что все параметры ВТСП трансформатора рассчитываются при температуре 77 К – температура кипения жидкого азота. В процессе расчета обмотки трансформатора следует добиваться наибольшей компактности в ее размещении, распределении витков и катушек с тем, чтобы получить наилучшее заполнение окна трансформатора. Одновременно следует стремиться к получению более развитой поверхности охлаждения обмотки и обеспечению достаточных размеров охлаждающих каналов [2, 3].

По вышеуказанным формулам были проведены расчёты параметров ВТСП-трансформаторов на мощности 1, 10, 16, 25 МВА. Результаты расчетов приведены в таблице 2. В таблице 3 приведены параметры традиционных масляных трансформаторов той же мощности.

Таблица 2 – Параметры ВТСП-трансформаторов

S, МВА	25	16	10	1
$U_{ном}$ , кВ	115/10,5	115/10,5	115/10,5	10,5/0,4
$R_T$ , Ом	0	0	0	0
$X_T$ , Ом	20,93	18,88	16,697	12,323
$G_T$ , Сим	$0,945 \cdot 10^{-6}$	$7,44 \cdot 10^{-7}$	$3,202 \cdot 10^{-7}$	9,975
$B_T$ , Сим	$0,52 \cdot 10^{-5}$	$4,094 \cdot 10^{-6}$	$1,762 \cdot 10^{-6}$	$4,987 \cdot 10^{-5}$
$\Delta P_{xx}$ , кВт	12,5	9,839	4,235	1,1
$\Delta P_{кз}$ , кВт	0	0	0	0
$\Delta Q_{xx}$ , кВАр	68,77	54,14	23,3	5,498
$I_{xx}$ , %	0,27508	0,338	0,233	0,55

Таблица 3 – Параметры традиционных трансформаторов

S, МВА	25	16	10	1
$U_{ном}$ , кВ	115/10,5	115/10,5	115/10,5	10,5/0,4
$R_T$ , Ом	2,539	4,391	7,67	1,213
$X_T$ , Ом	55,487	86,678	138,65	5,941
$G_T$ , Сим	$1,89 \cdot 10^{-6}$	$1,361 \cdot 10^{-6}$	$1,059 \cdot 10^{-6}$	$2,222 \cdot 10^{-5}$
$B_T$ , Сим	$1,04 \cdot 10^{-5}$	$8,469 \cdot 10^{-6}$	$6,805 \cdot 10^{-6}$	$1,27 \cdot 10^{-4}$
$\Delta P_{xx}$ , кВт	25	18	14	2,45
$\Delta P_{кз}$ , кВт	120	85	58	11
$\Delta Q_{xx}$ , кВАр	137,5	112	90	14
$I_{xx}$ , %	0,55	0,7	0,9	1,4

Сравнительный анализ параметров ВТСП и традиционных трансформаторов показывает, что потери активной мощности  $\Delta P$  в обмотках снижается до нуля, индуктивное сопротивление  $X_m$  ВТСП-трансформатора также снижается на 50 и более процентов за счет уменьшения габарита трансформатора [4, 5].

*Разработка 3D модели ВТСП трансформатора.* На основе рассчитанных параметров создана 3D модель в среде AutoCAD (рисунок 2). Для наглядности сделан разрез двух блоков.



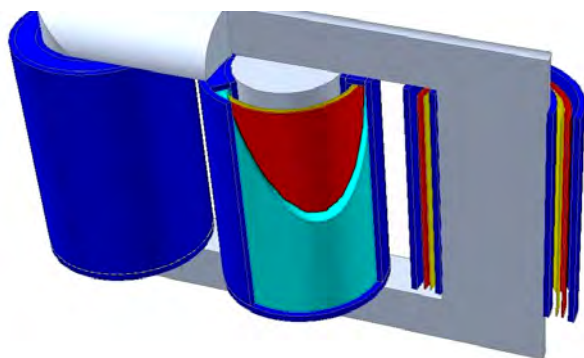


Рисунок 2 – 3D модель ВТСП трансформатора



Рисунок 3 – Расположение обмоток: НН-обмотка низкого напряжения; ВН-обмотка высокого напряжения; (размеры в мм)

Обмотки погружены в жидкий азот, служащий одновременно и изоляцией, и охлаждающей средой. Сердечник трансформатора работает при температуре окружающей среды, так как его охлаждение приведет к лишней нагрузке на криогенную систему. Обмотки термически изолированы от сердечника и окружающей среды с помощью двустенных контейнеров (так называемых криостатов), выполненных из эпоксиды, между стенками которых поддерживается вакуум. На рисунке 3 можно заметить, что обмотки ВТСП-трансформатора имеют меньшую ширину по сравнению с традиционными трансформаторами, это обусловлено меньшей толщиной ВТСП проводников. Уменьшение ширины обмоток трансформатора приводит к увеличению коэффициента полезного действия (КПД) и уменьшению реактивного сопротивления трансформатора.

**Заключение.** Резюмируя вышеизложенное можно утверждать, что ВТСП-трансформатор обладает лучшими технико-экономическими показателями по сравнению с силовыми масляными трансформаторами. Отсутствует потеря активной мощности в обмотках. Расчетное значение напряжения короткого замыкания ВТСП-трансформатора, при значении 4% ниже почти в 3 раза значения для трансформатора традиционного исполнения, равно 10,5%. Такое снижение позволяет снизить габаритные размеры ВТСП-трансформатора и повышает их экономическую целесообразность.

В связи с этим использование ВТСП-трансформаторов следует рассматривать как новое инновационное решение проблемы повышения энергоэффективности электрических сетей и систем электроснабжения, которое может быть реализовано в краткосрочной перспективе при модернизации электроэнергетики.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер проекта 8.6809.2017/8.9

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- 1 Лутидзе, Ш.И. Сверхпроводящие трансформаторы / Ш.И. Лутидзе, Э.А. Джафаров. –М.: Научтехлитиздат, 2002. -206 с.
- 2 Калимов, А.Х. Физические основы сверхпроводимости / А.Х. Калимов. –СПб.: Изд-во С.Петербур. гос. пед. унив., 2007. -104 с.
- 3 Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей / Д.Л. Файбисович. - 3-е изд., перер. и доп. -М: ЭНАС, 2009. -392 с.
- 4 Манусов, В.З. Анализ процессов ограничения токов короткого замыкания трансформатором с высокотемпературными сверхпроводящими обмотками / В.З. Манусов, Д.А. Павлюченко, Дж.С. Ахъев // -Пробл. регионал. энергет. -2017. -№1 (33). -С. 15-23.
- 5 Манусов, В.З. Перспективы инновационного применения трансформаторов с высокотемпературной сверхпроводящей обмоткой в электрических сетях России / В.З. Манусов, Дж. С. Ахъев // -Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2017. -№1-2. -С. 135-139.

- 1 Lutidze Sh.I., Dzhaфарov E.A., Superconducting transformers [Sverkhprovodyashchie transformatory]. Moscow: Nauchtekhlitizdat Publ. 2002. 206 p.
- 2 Kalimov A.Kh., Physical fundamentals of superconductivity [Fizicheskie osnovy sverkhprovodimosti], St. Petersburg: Herzen st. pedagogical univ. Publ. 2007. 104 p.
- 3 Faybisovich D.L., Handbook of electrical power system design [Spravochnik po proektirovaniyu elektricheskikh setey]. Moscow: ENAS Publ. 2009. 392 p.
- 4 Manusov V.Z., Pavlyuchenko D.A., Akh'eev J. S., Analysis of the processes of limiting short-circuit currents by a transformer with high-temperature superconducting windings [Analiz protsessov ogranicheniya tokov korotkogo zamykaniya transformatorom s vysokotemperaturnymi sverkhprovodyashchimi obmotkami]. Problemy regional'noy energetiki. 2017. No. 1 (33). pp. 15-23.
- 5 Manusov V.Z., Akh'eev Dzh. S., Specter of ground-breaking implementation of transformers with high-temperature superconducting winding in electrical grids of Russia [Perspektivy innovatsionnogo primeneniya transformatorov s vysokotemperaturnoy sverkhprovodyashchey obmotkoy v elektricheskikh setyakh Rossii]. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2017. No 1-2. pp. 135-139.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** трансформатор, высокотемпературная сверхпроводящая обмотка, потери активной мощности, энергоэффективность, жидкий азот, сердечник, критический ток  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор НГТУ  
Назаров Мусо Холмуродович, аспирант НГТУ  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ

---

## **ЭЛЕКТРОБУС ДЛЯ ВНУТРИГОРОДСКИХ ПЕРЕВОЗОК ПассажиРОВ**

**ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»**

**В.В. Бирюков, Д.А. Бахолдин**

### **AUTONOMOUS ELECTRIC BUS FOR INNER-CITY PASSENGER LINES**

Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia

Valeriy V. Biryukov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of NSTU)

Dmitriy A. Bakholdin (Master's Degree of NSTU)

---

**ABSTRACT:** The problem of choosing the type of energy storage for the perspective vehicle – autonomous electric bus is considered. This paper presents a calculation technique and a comparative analysis of the parameters of lithium polymer battery and supercapacitor as potential storage devices.

**Keywords:** electric bus, battery, capacitor, volume efficiency

---

Рассматривается проблема выбора типа источника энергии для перспективного вида транспорта – электробуса. Предложена методика расчёта и сравнительный анализ параметров таких накопителей как литий-полимерный аккумулятор и суперконденсатор.

Продолжающееся ухудшение экологической обстановки в городах заставляет искать альтернативные варианты использованию транспортных средств не только с тепловыми двигателями, но традиционному виду наземного экологически чистого вида транспорта, как троллейбус. Причина заключается не только в том, что требующаяся ему контактная сеть отнюдь не украшает архитектуру городов, но и в том, что он является менее маневренным по сравнению с автобусом. Если при этом учесть, что довольно часто обрывы контактного провода приводят к ухудшению транспортного обслуживания населения городов, а иногда и к образованию пробок на дорогах, то становится понятным стремление к замене его на такой же экологически чистый вид транспорта, но лишённый указанных недостатков. Эквивалентным по провозной способности и альтернативным троллейбусу является такой вид транспорта, как электробус.

Тяговый привод электробуса отличается от привода троллейбуса источником электрической энергии [1]. Если для троллейбуса им, как известно, является централизованный источник – контактная сеть, то электробус оснащается автономным источником. На сегодняшний день известно три основных варианта исполнения такого источника для транспортных средств:

- аккумулятор;
- конденсатор;
- топливный элемент.

Применение последнего из перечисленных источников на электробусе в настоящее время затруднено вследствие отсутствия специально разработанных энергоустановок с приемлемыми по массогабаритным показателям и эксплуатационным характеристикам топливных элементов.

Для оценки перспектив применения каждого из оставшихся видов источников следует оценить их достоинства и недостатки в плане удовлетворения требованиям эксплуатации на подвижном составе. В качестве критериев оценки примем следующие:

- возможность разряда в режиме пуска и заряда в режиме рекуперативного торможения максимальными токами;
- КПД преобразования при потреблении и возврате энергии в источник;
- массогабаритные показатели источников;
- стабильность энергетических показателей в различных климатических зонах при изменении погодных условий.

Последние разработки в области создания принципиально новых типов гальванических аккумуляторов показали перспективность их использования, в том числе и на транспорте. Особые надежды возлагаются на такую их разновидность, как литий-полимерные аккумуля-

торы, отличающиеся от остальных типов аккумуляторов более высокими энергетическими показателями.

Литий-полимерные аккумуляторы в полной мере отвечают требованию разряда и заряда их максимальными токами, поскольку именно этим недостатком отличались их предшественники – литий-ионные аккумуляторы, время заряда которых вследствие меньших величин токов было значительным.

Конденсаторный источник энергии в этом плане удовлетворяет требованию разряда и заряда не только токами тягового двигателя, но и гораздо бóльшими по величине, независимо от его типа. Существенным недостатком конденсаторов являлась малая величина удельной ёмкости по сравнению с аккумулятором. Однако появление конденсаторов с двойным электрическим слоем в значительной степени повысило конкурентоспособность их по отношению к аккумуляторам.

КПД преобразования энергии при возврате её в каждый источник практически одинаков, поскольку используются одни и те же схемные решения силовых цепей вплоть до элементной базы. В режиме же потребления в том случае, когда решается задача полного разряда конденсатора, схема силовых цепей с конденсаторным источником существенно усложняется и КПД преобразования становится меньше, чем в случае применения аккумулятора.

Прежде, чем проводить сопоставление массогабаритных показателей источников, необходимо рассмотреть вопрос влияния величины напряжения источника энергии на расход её в процессе движения. Из теории электрической тяги известно, что при уменьшении напряжения на двигателе падает и развиваемые им мощность и скорость и возрастает энергопотребление [2]. Графическое изображение этого влияния на примере тягового двигателя постоянного тока последовательного возбуждения приведено на рисунке 1.

При изменении величины питающего напряжения в процессе движения с  $U_{\max}$  до  $U_{\min}$  нарастание скорости подвижного состава происходит по кривой  $U_{\text{пер}}$ . Такая кривая характерна при использовании аккумулятора, поскольку в процессе разряда напряжение на нём изменяется в пределах заштрихованной зоны, отражающей изменение величины накопленного заряда и уменьшение в связи с этим величины выходного напряжения (рисунок 2) [3].

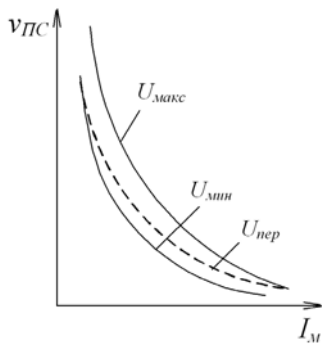


Рисунок 1 – Зависимость напряжения источника от расхода энергии для тягового двигателя постоянного тока последовательного возбуждения

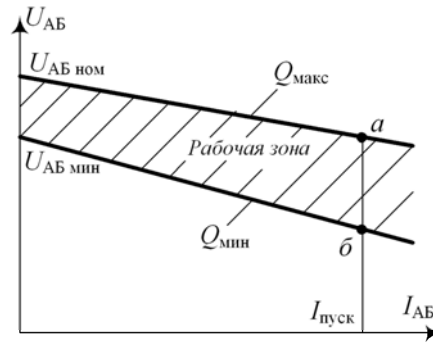


Рисунок 2 – Зависимость выходного напряжения от заряда аккумулятора

При использовании конденсатора кривая  $U_{\text{пер}}$ , начавшись с точки при  $U_{\max}$  – максимального напряжения в конечной точке будет иметь меньшее значение скорости.

Для того, чтобы «поднять» характеристику до совпадения её с кривой аккумуляторного источника необходимо увеличить ёмкость конденсатора, то есть в конечном итоге увеличить его массу.

Для того, чтобы оценить в процентном отношении увеличение массы конденсатора с целью достижения совпадения характеристик воспользуемся следующими соотношениями:

$$A = U_{AB \text{ ном}} Q_{\max} - U_{AB \text{ мин}} Q_{\min} = (1 - k_U k_Q) U_{AB \text{ ном}} Q_{\max} = (1 - 0,85 \cdot 0,25) U_{AB \text{ ном}} Q_{\max} = 0,7875 U_{AB \text{ ном}} Q_{\max};$$

$$k_Q = Q_{\min} / Q_{\max} = 0,25,$$

где  $k_U$  – коэффициент падения напряжения, обычно  $k_U = 0,85-0,87$

$$k_U = U_{AB \text{ мин}} / U_{AB \text{ ном}};$$

– величина энергии конденсатора, расходуемой на движение транспортного средства

$$A = \frac{C_{\text{конд}} U_{\text{АБ ном}}^2}{2} - \frac{C_{\text{конд}} U_{\text{АБ мин}}^2}{2} = 0,7875 U_{\text{АБ ном}} Q_{\text{макс}},$$

откуда

$$C_{\text{конд}} = \frac{5,67 Q_{\text{макс}}}{U_{\text{АБ ном}}}.$$

В случае использования полной энергии конденсатора (разряд до нуля) требуемая величина его ёмкости

$$C'_{\text{конд}} = \frac{2A}{U_{\text{АБ ном}}^2} = \frac{2Q_{\text{макс}}}{U_{\text{АБ ном}}}.$$

Таким образом, для обеспечения работы привода с конденсаторным источником энергии по характеристиками идентичными аккумуляторному требуется увеличение ёмкости конденсатора в

$$\frac{C_{\text{конд}}}{C'_{\text{конд}}} = \left( \frac{5,67 Q_{\text{макс}}}{U_{\text{АБ ном}}} \right) \left/ \left( \frac{2 Q_{\text{макс}}}{U_{\text{АБ ном}}} \right) \right. = 2,84 \text{ раза}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бирюков, В.В. Тяговый электрический привод: учеб. пособие / В.В. Бирюков, Е.Г. Порсев. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. унив., 2013, -314 с.
- 2 Розенфельд, В.Е. Теория электрической тяги: учебник для вузов ж.-д. трансп. / В.Е. Розенфельд, И.П. Исаев, Н.Н. Сидоров, М.И. Озеров; Под ред. И.П. Исаева. -М.: Транспорт, 1995. -297 с.
- 3 Бирюков, В.В. Энергетические аспекты функционирования транспортных систем: монография / В.В. Бирюков. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. унив. 2014. -264 с.

REFERENCES

- 1 Biryukov V.V., Porsev E.G., Traction electric drive [Tyagovyy elektricheskiy privod]. Novosibirsk: Novosibirsk st. techn. univ. Publ. 2013, 314 p.
- 2 Rozenfel'd V.E., Isaev I.P., Sidorov N.N., Ozerov M.I., Fundamentals of electric traction [Teoriya elektricheskoy tyagi]. Moscow: Transport Publ. 1995. 297 p.
- 3 Biryukov V.V., Energy issues in transportation systems operation [Energeticheskie aspekty funktsionirovaniya transportnykh system]. Novosibirsk: Novosibirsk st. techn. univ. 2014. 264 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электробус, аккумулятор, конденсатор, удельная ёмкость  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Бирюков Валерий Викторович, канд. техн. наук, доцент НГТУ  
 Бахолдин Дмитрий Андреевич, магистрант НГТУ  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ

## ДИАГНОСТИКА ПРИЗНАКОВ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО МЕТОДУ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

**В.З. Манусов, Д.В. Орлов**

**TRANSFORMER FAILURE DIAGNOSTICS THROUGH ANALYTIC HIERARCHY PROCESS**  
 Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia  
**Vadim Z. Manusov** (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of NSTU)  
**Dmitriy V. Orlov** (Master's Degree of NSTU)

**ABSTRACT:** The article considers possible way of assessing the current technical condition of power supply electrical equipment, substations and power grids. Authors show that fuzzy expert system can make a plausible enough prediction about possible faults and causes of failures. This allows us to identify the most significant malfunction signs and determine whether further operation of the facility is admissible.

**Keywords:** technical diagnostics, current technical condition of equipment, analytic hierarchy process, pairwise comparison, Saaty method

Рассмотрен возможный способ оценки текущего технического состояния электрооборудования систем электроснабжения, подстанций и электрических сетей. Показано, что с помощью нечетких экспертных оценок можно делать достаточно правдоподобное предсказание о возможных неисправностях и причинах отказов. Это позволяет выявить наиболее существенные признаки неисправности и принять решение о дальнейшей эксплуатации объекта.

Транспорт электроэнергии состоит из нескольких этапов, а именно: повышение величины напряжения электроэнергии, получаемой с шин электрической станции, до уровня, удовлетворяющего критериям экономической целесообразности; передача электроэнергии по сетям электроэнергетической системы к центрам электропотребления; преобразование величины напряжения до уровня номинального значения у электроприемников.

Термин «трансформаторное оборудование» подразумевает силовые трансформаторы и шунтирующие реакторы, конструкции которых схожи и эти устройства имеют подобные дефекты и признаки неисправностей. Наряду с этим, необходимо диагностировать также коммутационную аппаратуру, связанную с этим оборудованием: выключатели, разъединители, короткозамыкатели и другое электрооборудование. Диагностика текущего технического состояния трансформаторного оборудования является многоступенчатой задачей с разветвленной структурой. Каждая ступень задачи имеет свой ранг, тем самым, формируя систему зависимостей более высоких уровней от более низких. Такая многоступенчатая система представляет собой некоторую иерархию причинно-следственных связей на пути принятия решения о дальнейшей эксплуатации электрооборудования. Иерархия (от др.-греч. «правление») подразумевает порядок подчиненности низших звеньев к высшим, организация их в структуру типа «дерево».

Метод Анализа Иерархий (МАИ) – математический инструмент системного анализа при принятии решений. МАИ не предписывает лицу, принимающему решение (ЛПР), какого-либо «правильного» решения, а позволяет ему в интерактивном режиме найти такой вариант (альтернативу), который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями к ее решению. Таким образом, эксперт принимает решение основываясь на собственных знаниях и накопленном опыте. Метод предложен Томасом Л. Саати [1].

*Постановка задачи.* Принятие решения – вид деятельности, включающий в себя процесс сбора, анализа информации об объекте и выбор наиболее оптимального варианта из имеющихся возможных. Процесс принятия решений может быть произведен после осмотра электрооборудования и выявления признаков неисправности [3].

Введем термин «Smart diagnostic» (интеллектуальная диагностика), включающий в себя сбор данных о трансформаторном оборудовании, находящемся в эксплуатации, их анализ для получения определенного вывода о текущем техническом состоянии оборудования. Такая диагностика может производиться после осмотра электрооборудования и выявления признаков неисправности.

Признаков (индикаторов) неисправностей может быть достаточно много. Приведем некоторые из них, встречающиеся довольно часто на практике: P1-выгорание витковой изоляции обмотки трансформатора; P2-деформация в обмотках; P3-увлажнение и загрязнение изоляции обмоток; P4-износ изоляции обмоток; P5-пробой в обмотках; P6-обрыв в обмотках; P7-срабатывание газовой защиты. Предпосылками или причинами указанных неисправностей могут быть: G1-длительное неотключение сквозного тока КЗ на стороне НН трансформатора; G2-недостаточная электродинамическая стойкость обмоток к токам КЗ; G3-нарушение герметичности трансформатора; G4-снижение механической прочности изоляции; G5-перенапряжение; G6-механическое повреждение; G7-низкий уровень масла. Стоит заметить, что здесь учитываются, также, причины, которые могут произойти вследствие несрабатывания релейных защит на вводных выключателях и собственных защит трансформатора.

Предположим, что имеются семь признаков неисправностей. Сравним эти признаки по фундаментальной шкале Саати [1], которая имеет девять степеней предпочтения:

1 степень – равная предпочтительность; 3 степень – средняя степень предпочтения; 5 степень – умеренного сильного предпочтения; 7 степень – очень сильного (очевидное) предпочтение; 9 степень – абсолютное предпочтение. Числа 2, 4, 6, 8 и их обратные величины используются для облегчения компромиссов между слегка отличающимися от основных чисел суждениями. Если признак А имеет умеренно сильное предпочтение над признаком В, то последний имеет обратную степень предпочтения над А.

Психологический предел  $7 \pm 2$  предметов при одновременном сравнении подтверждается, что если взять не более 9 отдельных предметов, удовлетворяющих описанию, и если все они слегка отличаются друг от друга, то понадобится 9 точек, чтобы различить их. Поэтому мы берем не больше 9 градаций

Сравнение признаков производится с учетом одной из семи возможных причин неисправности. Суть метода заключается в том, что для человека привычнее задавать значения переменной не числами, а словами, а также получать и воспроизводить информацию, которая содержит в себе компоненты неточности. Понятие нечеткого множества – это попытка формализации лингвистической информации для построения математических моделей. В основе этого лежит представление о том, что составляющие данное множество элементы, обладающие общим свойством, могут обладать им в различной степени и, следовательно,

принадлежать к этому множеству с различной степенью. Лингвистическая переменная – это переменная, значениями которой могут быть слова или словосочетания. Эта информация не несет в себе точных определений, поэтому она является нечеткой [2].

*Математическая модель метода анализа иерархий Саати.* Примем следующую модель технической диагностики трансформаторов с использованием матрицы нечетких отношений, которая в свою очередь требует некоторых экспертных оценок. Эти лингвистические оценки представляются как некоторые точки функции принадлежности, отражающей субъективное восприятие повреждения экспертом на основе его опыта и знаний. Пусть описание полного пространства возможных повреждений (предпосылок)  $G$  состоит из  $m$  факторов, а полное пространство причин (заключений) появления этих повреждений  $P$  из  $n$  симптомов.

На первоначальном этапе производится попарное сравнение признаков между собой для каждой из семи возможных причин. При сравнении элемента с самим собой имеем равную значительность, так что на пересечении строки  $A$  со столбцом  $A$  в позиции  $(A, A)$  заносим 1. Поэтому главная диагональ матрицы должна состоять из единиц. Заносим соответствующие обратные величины: 1, 1/3, ..., или 1/9 на пересечениях столбца  $A$  и строки  $B$ , то есть в позицию  $(B, A)$  для обратного сравнения  $B$  с  $A$ .

Далее необходимо вычислить вектор-столбец приоритетов матрицы попарных сравнений признаков неисправностей для каждой из возможных причин. С математической точки зрения это – вычисление главного собственного вектора, который после нормализации становится вектором приоритетов.

Умножая матрицу попарных сравнений на вектор-столбец приоритетов, получим новый вектор собственных значений. Разделив первую компоненту этого вектора на первую компоненту оценки вектора решения, вторую компоненту нового вектора на вторую компоненту оценки вектора решения и т.д., определим еще один вектор. Разделив сумму компонент этого вектора на число компонент, найдем приближение к числу  $\lambda_{\max}$  (называемому максимальным или главным собственным значением), используемому для оценки согласованности, отражающей пропорциональность предпочтений. Чем ближе  $\lambda_{\max}$  к  $n$  (числу объектов или видов действия в матрице), тем более согласованным будет результат. Отклонение от согласованности может быть вычислено следующим образом

$$(\lambda_{\max} - n)/(n - 1).$$

Эта величина называется индексом согласованности (ИС). Далее по методу анализа иерархий Саати необходимо перейти к отношению согласованности (ОС). Это ОС определяется путем деления ИС на константу зависящую от размерности матрицы (для матрицы размерностью  $7 \times 7$   $Const = 1,32$ ). Значение ОС, меньшее или равное 0,10, будем считать приемлемым [1]. В общем случае, под согласованностью подразумевается то, что при наличии некоторого массива исходных данных все другие значения логически могут быть получены из них.

Используя метод анализа иерархий составлено 7 таблиц попарных сравнений возможных признаков повреждений по числу возможных причин. Для каждой таблицы рассчитаны векторы-столбцы приоритетов (ВСП) и собственных значений матриц  $\lambda_i$ . Также, для каждой матрицы рассчитано главное собственное значение  $\lambda_{\max}$ , индекс согласованности (ИС) и отношение согласованности (ОС). Результаты расчетов для каждой из семи возможных причин, перечисленных ранее, представлены в таблицах 1-7.

Таблица 1 – Матрица попарных сравнений возможных признаков неисправностей при длительном неотключении сквозного тока КЗ

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	ВСП	$\lambda$
P1	1	2	9	1	3	7	5	0,290	7,585
P2	1/2	1	5	1	2	4	3	0,171	8,017
P3	1/9	1/5	1	1/9	1/3	1/2	1/3	0,027	7,816
P4	1	1	9	1	3	7	5	0,280	7,255
P5	1/3	1/2	3	1/3	1	3	2	0,105	7,238
P6	1/7	1/4	2	1/7	1/3	1	1/3	0,043	6,543
P7	1/5	1/3	3	1/5	1/2	3	1	0,085	6,096
$\lambda_{\max}$									7,220
Индекс согласованности									0,037
Отношение согласованности									0,028

Из таблицы следует, что наиболее вероятным признаком является выгорание витковой изоляции обмотки трансформатора с приоритетностью 0,290. На втором месте, с минимальным отличием, – износ изоляции обмоток с приоритетом 0,280. На третьем – деформация в обмотках с приоритетом 0,171. Отношение согласованности 0,097, что меньше 0,1 и удовлетворяет условию согласованности метода анализа иерархий Саати.

*Таблица 2 – Матрица попарных сравнений возможных признаков неисправностей при недостаточной электродинамической стойкости обмоток к токам КЗ*

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	ВСП	$\lambda$
P1	1	5	7	5	1	1/3	7	0,229	7,366
P2	1/5	1	3	1	1/5	1/7	3	0,074	6,037
P3	1/7	1/3	1	1/3	1/7	1/9	1	0,027	7,730
P4	1/5	1	3	1	1/5	1/7	3	0,074	6,037
P5	1	5	7	5	1	1/3	7	0,229	7,366
P6	3	7	9	7	3	1	9	0,339	9,532
P7	1/7	1/3	1	1/3	1/7	1/9	1	0,027	7,730
$\lambda_{\max}$									7,400
Индекс согласованности									0,067
Отношение согласованности									0,050

В этом случае, наиболее вероятным признаком является обрыв в обмотках с приоритетностью 0,339. На втором месте – выгорание витковой изоляции трансформатора и пробой в обмотках с равными приоритетами 0,229. На третьем – деформация в обмотках и износ изоляции обмоток с приоритетами 0,074. Отношение согласованности 0,05, что меньше 0,1.

*Таблица 3 – Матрица попарных сравнений возможных признаков неисправностей при нарушении герметичности трансформатора*

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	ВСП	$\lambda$
P1	1	1	1/9	1/3	5	1	1/3	0,080	6,132
P2	1	1	1/9	1/3	5	1	1/3	0,080	6,132
P3	9	9	1	3	9	9	3	0,391	9,621
P4	3	3	1/3	1	7	3	1	0,167	7,950
P5	1/5	1/5	1/9	1/7	1	1/5	1/9	0,018	8,594
P6	1	1	1/9	1/3	5	1	1/3	0,080	6,132
P7	3	3	1/3	1	9	3	1	0,185	7,362
$\lambda_{\max}$									7,417
Индекс согласованности									0,070
Отношение согласованности									0,053

Наиболее вероятным признаком, здесь является увлажнение и загрязнение изоляции обмоток с приоритетностью 0,391. На втором месте с приоритетом 0,185 – срабатывание газовой защиты. На третьем – износ изоляции обмоток с приоритетом 0,167. Отношение согласованности 0,053, что меньше 0,1.

*Таблица 4 – Матрица попарных сравнений возможных признаков неисправностей при снижении механической прочности изоляции*

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	ВСП	$\lambda$
P1	1	3	5	1/9	1/3	7	1/3	0,140	5,538
P2	1/3	1	1	1/9	1/9	1	1/9	0,031	7,312
P3	1/5	1	1	1/9	1/5	1	1/5	0,031	7,787
P4	9	9	9	1	3	9	3	0,360	10,216
P5	3	9	5	1/3	1	5	1	0,204	7,527
P6	1/7	1	1	1/9	1/5	1	1/5	0,031	7,646
P7	3	9	5	1/3	1	5	1	0,204	7,527
$\lambda_{\max}$									7,650
Индекс согласованности									0,108
Отношение согласованности									0,082

Для этой причины наиболее вероятным признаком является износ изоляции обмоток с



## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

приоритетностью 0,360. На втором месте пробой в обмотках и срабатывание газовой защиты с одинаковыми приоритетами 0,204. На третьем – выгорание витковой изоляции трансформатора с приоритетом 0,140. Отношение согласованности 0,082, что меньше 0,1.

*Таблица 5 – Матрица попарных сравнений возможных признаков неисправностей при перенапряжении*

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	ВСП	$\lambda$
P1	1	3	7	1/3	1/9	5	3	0,164	6,114
P2	1/3	1	1	1/9	1/9	1	1	0,038	7,662
P3	1/7	1	1	1/5	1/9	1/2	1/2	0,029	8,289
P4	3	9	5	1	1/3	9	9	0,307	7,477
P5	9	9	9	3	1	7	5	0,363	10,860
P6	1/5	1	2	1/9	1/7	1	1/2	0,042	6,825
P7	1/3	1	2	1/9	1/5	2	1	0,056	7,094
$\lambda_{\max}$									7,760
Индекс согласованности									0,127
Отношение согласованности									0,096

В данном случае наиболее вероятен пробой в обмотках с приоритетностью 0,363. Далее с небольшим отличием – износ изоляции обмоток с приоритетом 0,307. На третьем – выгорание витковой изоляции трансформатора с приоритетом 0,164. Отношение согласованности 0,096, что меньше 0,1.

*Таблица 6 – Матрица попарных сравнений возможных признаков неисправностей при механическом повреждении*

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	ВСП	$\lambda$
P1	1	1/7	1/5	1	1/3	1/5	1/3	0,039	7,245
P2	7	1	1/3	7	1	1/3	1	0,217	5,430
P3	5	3	1	5	1	1	1	0,209	8,378
P4	1	1/7	1/5	1	1/3	1/5	1/3	0,039	7,245
P5	3	1	1	3	1	1/3	1	0,127	7,896
P6	5	3	1	5	3	1	1	0,233	8,584
P7	3	1	1	3	1	1	1	0,135	8,569
$\lambda_{\max}$									7,621
Индекс согласованности									0,104
Отношение согласованности									0,078

Наиболее вероятным признаком является обрыв обмоток с приоритетностью 0,233. Затем с небольшим отличием – деформация обмоток с приоритетом 0,217. На третьем, также с небольшим отличием, – увлажнение и загрязнение изоляции обмоток с приоритетом 0,209. Отношение согласованности 0,078, что меньше 0,1.

*Таблица 7 – Матрица попарных сравнений возможных признаков неисправностей при низком уровне масла*

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	ВСП	$\lambda$
P1	1	5	3	1	1/3	5	1/9	0,131	6,158
P2	1/5	1	1/2	1/5	1/5	1	1/9	0,027	8,273
P3	1/3	2	1	1/3	1/9	1	1/5	0,042	7,571
P4	1	5	3	1	1/3	5	1/9	0,131	6,158
P5	3	5	9	3	1	9	1/3	0,257	7,630
P6	1/5	1	1	1/5	1/9	1	1/9	0,031	7,277
P7	9	9	5	9	3	9	1	0,381	11,12
$\lambda_{\max}$									7,741
Индекс согласованности									0,124
Отношение согласованности									0,094

Для последней причины наиболее вероятным признаком является срабатывание газовой защиты с приоритетностью 0,381. На втором месте – пробой в обмотках с приоритетом 0,257. На третьем – выгорание витковой изоляции обмотки трансформатора и износ изоляции обмоток с приоритетами 0,131. Отношение согласованности 0,094, что меньше 0,1.

Следует учитывать некоторую нечеткость представления лингвистических переменных в числовом формате. Таким образом, при малой различимости приоритетов возникновения возможных признаков неисправностей допустимы случаи, когда второй по номеру признак может возникнуть первым или же одновременно с наиболее вероятным. Это обусловлено несопадением естественного языка эксперта с формальным языком компьютера [4].

**Заключение.** Предложен метод диагностики текущего технического состояния трансформаторного электрооборудования на основе метода анализа иерархий Саати при необходимом уровне согласованности мнений экспертов. Проведенные исследования показывают, что при некоторых признаках неисправностей, а также нечеткой лингвистической оценки этих признаков экспертами можно сделать достаточно правдоподобные выводы о причинах тех или иных неисправностей [4].

Данный метод технической диагностики на основе неточной информации позволяет выбрать наиболее достоверный признак повреждения при наличии нескольких альтернатив и критериев. Процесс принятия решений по результатам технической диагностики может быть основан на симбиозе теории нечетких отношений и фундаментальной шкалы попарных сравнений по Саати.

Предложенный метод свидетельствует о возможности итогового принятия решений на новом уровне иерархии для трех возможных исходов:

- возможна дальнейшая эксплуатация оборудования в нормальном режиме (исправное работоспособное состояние);
- возможна дальнейшая эксплуатация оборудования с учащенным контролем параметров (неисправное работоспособное состояние);
- немедленный вывод оборудования в ремонт (предельное состояние).

**Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер проекта 8.6809.2017/8.9**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Saaty, Thomas L. The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority setting, Resource allocation / Thomas L. Saaty. -Pittsburgh: University of Pittsburgh. 1988. -320 p.

2 Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. -М.: Горячая линия-Телеком, 2007. -288 с.

3 Манусов, В.З. Анализ нечетких признаков неисправностей трансформаторного оборудования / В.З. Манусов, Д.И. Коваленко, С.А. Дмитриев, С.А. Ерошенко // -Вестн. Юж.-Урал. гос. унив.: сер. Энергетика. -2013. -Т.13, -№1. -С. 124-127.

4 Manusov, V.Z. Diagnosing Of The Current Technical Condition Of Electric Equipment On The Basis Of Expert Models With Fuzzy Logic/ S.A. Dmitriev, V.Z. Manusov, J.S. Ahyoev // 57th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON): proceedings, Riga & Cesis, Latvia, 13-14 October, 2016. -P. 243-246.

1 Thomas L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority setting, Resource allocation. Pittsburgh: University of Pittsburgh Publ. 1988. 320 p.

2 Shtovba S.D., Designing fuzzy systems using MATLAB [Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATLAB]. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom Publ. 2007. 288 p.

3 Manusov V.Z., Kovalenko D.I., Dmitriev S.A., Eroshenko S.A., Analysis of vague symptoms of faults in transformer equipment [Analiz nechetkikh priznakov neispravnostey transformatornogo oborudovaniya]. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. Vol. 13, No. 1. pp. 124-127.

4 Manusov V.Z., Dmitriev S.A., Ahyoev J.S., Diagnosing Of The Current Technical Condition Of Electric Equipment On The Basis Of Expert Models With Fuzzy Logic. 57th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON): proceedings, Riga & Cesis, Latvia, 13-14 October, 2016. -pp. 243-246.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *техническая диагностика, текущее состояние оборудования, анализ иерархий, попарные сравнения, метод Саати*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор НГТУ Орлов Дмитрий Викторович, магистрант НГТУ*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ*

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

**Н.С. Логутенко, В.В. Бирюков**

**CURRENT ISSUES OF SUBWAY VENTILATION SYSTEMS**

**Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia**

**Nadezhda S. Logutenko (Master's Degree of NSTU)**

**Valeriy V. Biryukov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of NSTU)**

**ABSTRACT:** The article describes the problem of high reactive power consumption by ventilation subway units, as well as the possibility of improving the quality of electric power supply through implementing the active compensator of reactive power at substation level.

**Keywords:** *subway, power factor, reactive power, quality of electric power supply, ventilation units*

Рассмотрена проблема высокого потребления реактивной энергии вентиляционными агрегатами метрополитена, а также показана возможность улучшения качества электроэнергии путем внедрения активного компенсатора реактивной мощности на подстанциях.

Современный метрополитен относится к сложному транспортному комплексу, оснащённому разнообразным электротехническим оборудованием. Развитие метро сопровождается увеличением протяженностей тоннелей, количества подстанций и нагрузки на транспортировку пассажиров. Все оборудование подстанций выделяет вредные вещества и ухудшает состояние внутреннего микроклимата, которое оказывает негативное влияние на самочувствие пассажиров, а также на здоровье и работоспособность сотрудников метрополитена. Поэтому возникает необходимость в надежной и бесперебойной работе системы искусственной вентиляции.

Основное назначение вентиляции заключается в жизнеобеспечении подземных сооружений, поддержании регламентированных параметров воздушной среды в пределах установленных норм, подачи свежего воздуха на подстанцию и извлечение отработанного воздуха в атмосферу.

Вентиляционные установки являются одним из крупных энергопотребителей метрополитена, к качеству энергопотребления которого предъявляют жесткие требования

Система вентиляционных агрегатов метрополитена приводится в движение с помощью асинхронных двигателей, которые работают от трёхфазной сети переменного тока 380 В. Недостатком таких двигателей является низкое значение коэффициента мощности при работе в неноминальных режимах, чувствительность к колебаниям уровня питающего напряжения и несимметрия фаз, что приводит к дополнительному нагреву двигателя [1]. Помимо этого в цепях питания имеются полупроводниковые выпрямители, которые оказывают негативное воздействие на систему в виде высшие гармонических составляющих тока и напряжения.

Действующее эксплуатационное значение КПД тоннельных вентиляторов находится в пределах 0,22-0,33, поэтому работу установок можно считать неэкономичной. Трансформаторы, которые питают вентиляционные установки, также потребляют большое количество реактивной энергии. Высокий уровень потребления реактивной энергии трансформаторами свидетельствует об их недогрузке, а такое состояние приводит к снижению общего коэффициента мощности.

Энергия, потребляемая устройствами вентиляции, косвенно зависит от величины пассажиропотока и времени года. Пассажиропоток возрастает в период с сентября по май, снижаясь в летние месяцы (рисунок 1).

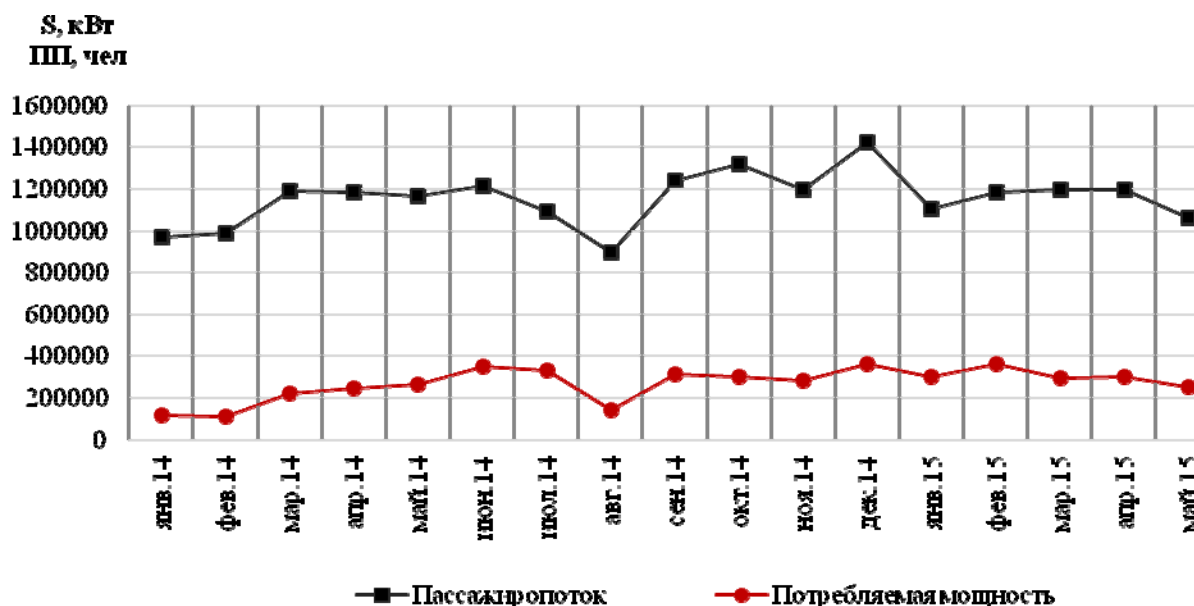


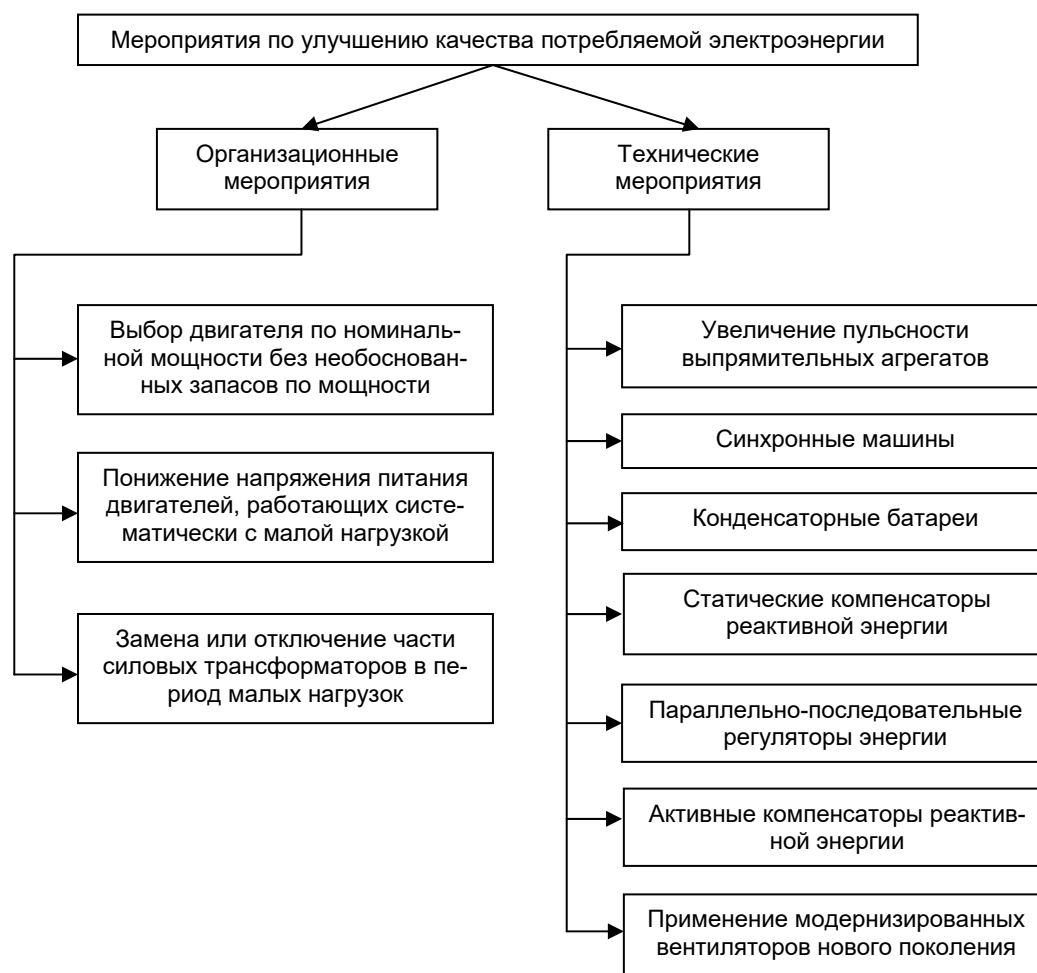
Рисунок 1 – Кривые развиваемой вентиляционными агрегатами Новосибирского метрополитена мощности и пассажиропотока

Экономичное использование потребляемой энергии и компенсация реактивной энергии являются одними из важных проблем современного метрополитена.

Низкое значение коэффициента мощности сопровождается:

- искажением характеристик токов и напряжений;
- увеличением потребления тока, потерь и потребляемой энергии;
- снижением уровня питающего напряжения у сторонних потребителей.

Наличие этих аспектов предполагает мероприятия по улучшению качества потребляемой электроэнергии. Мероприятия по улучшению качества потребляемой электрической энергии вентиляционными агрегатами метрополитена могут быть организационными и техническими (рисунок 2).



*Рисунок 2 – Мероприятия по улучшению качества потребляемой вентиляционными агрегатами метрополитена электрической энергии*

Организационные мероприятия должны выполняться всегда, в случае, когда таких мер становится недостаточно – необходимо воспользоваться техническими решениями.

Сравнение технических средств улучшения потребляемой электроэнергии вентиляцией метрополитена приведено в таблице.

Замена имеющихся вентиляционных агрегатов модернизированными позволит в значительной степени снизить энергопотребление метрополитена на вентиляцию. Вместе с тем, следует отметить, что такое решение целесообразно принимать при проектировании новых станций метрополитена, что, тем не менее, не исключает необходимости использования устройств компенсации реактивной энергии по высшим гармоническим составляющим тока и напряжения.

С целью модернизации существующих подстанций оптимальным вариантом будет являться внедрение активных компенсаторов реактивной энергии. Такое решение позволит избавиться не только от фазового сдвига между током и напряжением, но и подавить высшие гармоники [2]. Данное устройство состоит из конденсаторных батарей, которые являются источником реактивной энергии и ключевых элементов. Ключевыми элементами являются IGBT-транзисторы. Они управляются микроконтроллером на основе полученной информации с датчиков тока.

Таблица – Сравнение технических средств улучшения качества потребляемой электроэнергии

Критерий сравнения	Тип устройства						
	Синхронная машина	Конденсаторная батарея	Выпрямительный агрегат	Статический тиристорный ком-пенсатор	Параллельно-последовательный регулятор мощности	Активный компенсатор	Модернизированный вентилятор
Компенсация реактивной энергии по основной гармонике	+	+	+	+	+	+	+
Компенсация реактивной энергии по высшим гармоникам	-	-	-	-	-	+	-
Выравнивание нагрузки фаз	+	-	-	+	+	+	+
Сглаживание бросков по активной энергии	-	-	+	+	-	+	+
Устойчивость работы в переходных режимах	средняя	низкая	высокая	средняя	средняя	высокая	средняя
Стоимость	высокая	низкая	средняя	средняя	высокая	высокая	высокая

Главными целями применения компенсатора является:

- повышение коэффициента мощности и поддержание его на заданном уровне;
- улучшение формы кривой тока;
- снижение полной потребляемой мощности;
- снижение потерь электрической энергии.

Величина коэффициента мощности системы вентиляции, оснащённой компенсатором реактивной мощности, согласно исследованиям достигает значений 0,97-0,98.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Тимофеев, А.С. Компенсация реактивной мощности: учеб. пособие / А.С. Тимофеев. -Новокузнецк: Изд-во Сиб. гос. индуст. унив., 2010. -66 с.  
 2 Мельников, М.А. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие / М.А. Мельников. - Томск: Изд-во Томск. политехн. унив., 2000. -144 с.

1 Timofeev A.S., Reactive power compensation [Kompensatsiya reaktivnoy moshchnosti]. Novokuznetsk: Siberian st. industry. univ. Publ. 2010. 66 p.  
 2 Mel'nikov M.A., Electric power supply of industrial facilities [Elektrosnabzhenie promyshlennykh predpriyatiy]. Tomsk: Tomsk polytechn. univ. Publ. 2000. 144 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** метрополитен, коэффициент мощности, реактивная энергия, качество электроэнергии, вентиляционные агрегаты  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Логутенко Надежда Сергеевна, магистрант НГТУ  
 Бирюков Валерий Викторович, канд. техн. наук, доцент НГТУ  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ

## ХОЛОНИЧЕСКИЙ ПОДХОД ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ В КОНЦЕПЦИИ SMART GRID ПРИ ДВУСТОРОННЕМ ПОТОКЕ ЭНЕРГИИ

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

**В.З. Манусов, Н. Хасанзода**

**HOLONIC APPROACH FOR INTELLIGENT POWER SYSTEMS OF SMART GRID CONCEPT**  
 Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia  
**Vadim Z. Manusov** (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of NSTU)  
**Nasrullo Hasanzoda** (Graduate student of NSTU)

**ABSTRACT:** In this paper we consider intelligent network modes based on the Smart Grid concept with bidirectional power flow function for «prosumers» – active consumers that can autonomously generate, store, import and/or export power. A holonic approach based on holons (subsystems) organized in various aggregation layers to form a holarchy. The bidirectional power flow for the holonomic structure assumes the possibility to generate and store power due to the internal structure of the electric consumer. This allows flexibly regulate the energy flow and equalize the load graph.

**Keywords:** intelligent power network, Smart Grid, holon, holarchy, bidirectional power exchange, renewable power sources, power storage

Рассматриваются режимы интеллектуальной сети на основе концепции Smart Grid с функцией

двустороннего потока энергии для генерирующих потребителей. При этом использован холонический подход, основанный на совокупности холонов (подсистем), состоящих между собой во взаимосвязи вида холархии. Двусторонний поток энергии для холонической структуры предполагает возможность генерации и накопление энергии за счет внутренней структуры электропотребителя. Это позволяет гибко регулировать поток энергии и выравнять график нагрузки.

Электроэнергетическая система (ЭЭС) России является уникальным организационно-техническим объектом. Однако централизованная система организации и управления ЭЭС нуждается в модернизации и использовании инновационных технологий. В последнее десятилетие в передовых странах мира развивается технология Smart Grid. Термин Smart Grid до сих пор не имеет четкого терминологического эквивалента в русском языке. К наиболее распространенным эквивалентным русскоязычным терминам относится «Интеллектуальная сеть энергетики», «интеллектуальная электроэнергетическая система», «активно-адаптивная сеть». В настоящее время имеется множество определений Smart Grid, при этом каждая из сторон-участниц процесса (энергокомпания, энергопотребитель, автоматизации энергообъектов, системные интеграторы и др.) видят в Smart Grid свои функции и задачи [1].

Smart Grid представляет собой автоматизированную систему, обеспечивающую двусторонний поток электрической энергии и коммуникативную информацию между энергообъектами и потребителями за счет применения новейших технологий, инструментов, которые позволяют повысить эффективность работы электросетевого комплекса.

Впервые термин Smart Grid использован авторами S.M. Amin и B.F. Wollenberg в их публикации «к направлению интеллектуальной сети» [2]. Применение этого термина за рубежом было связано с чисто рекламными названиями специальных контроллеров, предназначенных для управления режимом работы и синхронизации автономных ветрогенераторов, отличающихся нестабильным напряжением и частотой, с электрической сетью. Затем термин стал применяться для обозначения микропроцессорных счетчиков электроэнергии, способных самостоятельно накапливать, обрабатывать, оценивать информацию и передавать ее по специальным каналам связи и даже через интернет. Причем сами по себе контроллеры синхронизации ветрогенераторов и микропроцессорные счетчики электроэнергии были разработаны и выпускались различными фирмами еще до появления Smart Grid. В последние годы использование Smart Grid расширилось на системы сбора и обработки информации, мониторинга оборудования в электроэнергетике [3]:

*Технология Smart Grid и её атрибуты.* С точки зрения авторов Smart Grid следует рассматривать как концепцию инновационного преобразования электроэнергетики на основе целостного системного видения ее роли и места в современном и будущем обществе. Она определяет требования к электроэнергетике, подходы к обеспечению этих требований, принципов и способов осуществления необходимого технологического базиса для реализации концепции, в которой новым технологиям и устройствам отводится роль одного из основных способов и инструментов его осуществления.

Наименованию технологии «Smart» приписывается расширенный смысл исходя из её аббревиатуры, составленной из первых букв английских слов, задающих соответствующие системные критерии качества цели [4]:

S (specific: конкретный, определенный, индивидуальный) – каждая цель должна быть описана как определенный, конкретный результат;

M (measurable: измеряемый, соизмеримый, количественно оцениваемый) – цель должна быть измеримой с помощью конкретных индикаторов и стандартных процедур измерения;

A (assignable: объяснимый, имеющий определённую причину, назначаемый, с функцией программирования) – цель должна быть объяснимой, обоснованной, доказанной, жизненно необходимой для субъекта и/или организации;

R (realistic: реальный, практический, достижимый, приемлемый) – цель должна быть реально достижимой, целесообразной и достаточно объективной;

T (time-related: связанный со временем, зависящий от времени, динамический) – цель должна быть стратегически определена на временном интервале, иметь конкретные сроки достижения, с контролем ее реализации.

Важной особенностью Smart Grid является возможность реализации двусторонних потоков энергии и коммуникативной информации, за счет того, что генерирующий потребитель может, получать энергию также от внутренних возобновляемых источников энергии (ВИЭ), ЭЭС и накопителя энергии после её аккумуляирования. В этом коренное отличие Smart Grid

от традиционных электрических сетей, в которых электроэнергия и поток информации обычно однонаправленный. Электроэнергия генерируется на базе центральной электростанции, а затем проходит через систему передачи и распределительные сети для генерирующих потребителей. Коммунальное предприятие (компания) собирает информацию о потребностях пользователей и состоянии сети, в то время как у обычных пользователей нет доступа к получению информации о рынке электроэнергии.

Однако в Smart Grid, как показано на рисунке 1, поддерживаются двухсторонние потоки электроэнергии и информации, так что покупатели электроэнергии могут приобретать рыночную информацию и статус сети и возвращать энергию в сеть [5]. Таким образом, обмен информацией и мощностью становится более гибкими и повышает эффективность управления мощностью для более надежного распределения электроэнергии. Посредством периодических информационных сообщений, центр управления контролирует сети в режиме реального времени, а генерирующих потребителей (ГП) приобретают обновленную информацию о ценах в режиме реального времени. Можно сказать, что двухсторонние потоки электроэнергии и информации являются основой управления мощностью в online и многими другими приложениями Smart Grid [6].

*Холонический подход в концепции Smart Grid.* Концепция holon (холон), была разработана философом Кестлером [7]. После наблюдения за биологическими и социальными системами он понял, что развитие систем связано с устойчивыми и самостоятельными промежуточными формами. Более того, он заметил, что почти все целое является и частью одновременно. Например, ячейка в теле является целым, потому что она представляет собой отдельную живую сущность, которая имеет четкую стенку клетки, определяющую ее взаимосвязь с остальным миром. Тем не менее, ячейка состоит из небольших объектов, таких как ядро и хромосома, которые также являются отдельными объектами. Группа клеток вместе образует большее целое, которое представляет собой ткань, группа тканей образует орган, органы образуют системы органов, а системы органов составляют тело субъекта как личности и сам субъект является частью своей непосредственной экосистемы.

На основе этих наблюдений, Кестлер придумал слово «holon», объединив греческое слово «holos», что означает «целое», и греческий суффикс «on» – «часть». Холон относится к отдельной логической сущности, которая является как целой, так и частью. Холоны в основном автономны, что позволяет им самостоятельно регулировать свое существование. Более того, они взаимодействуют друг с другом и образуют большие холоны на более высоком уровне агрегирования (агрегация). Холоны могут быть повторно организованы на разных уровнях агрегирования, чтобы сформировать иерархию саморегулируемых холонов, которая в этом случае называется holarchy (холархия). Диаграмма, представляющая холархию, показана на рисунке 2.



Рисунок 1 – Видение будущей интеллектуальной сети

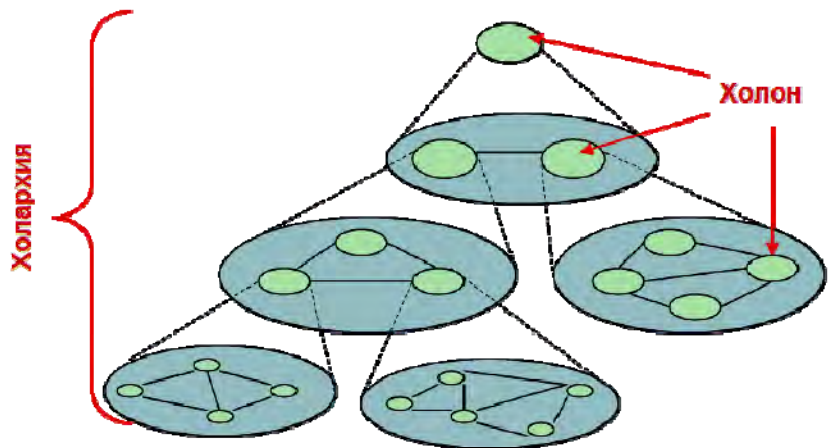


Рисунок 2 – Холархия как организация холонов



Функционируя автономно, холон может взаимодействовать с другими холонами в холархии для достижения общих целей. В динамической среде холоны также могут изменять свои свойства. Эти свойства холонической концепции делают ее весьма привлекательной для организации очень сложных систем, в том числе Smart Grid. Автономия холонов способствует распределенному управлению системой, в которой агрегирование отдельных холонов повышает эффективность и качество функционирования системы. Кроме того, с учетом динамической реконфигурацией холархия становится более устойчивой к изменениям и адаптируется к своей и внешней средам.

Холоническая концепция обладает преимуществом и значительными отличительными особенностями по сравнению с иерархическими и агентскими технологиями. В отличие от холархии, в иерархии степень автономности элемента сильно ограничена из-за отношения ведущего/ведомого, которое существует между слоями объектов [8, 9]. Холонический подход был предложен для организации различных систем, некоторые из них являются: организационное моделирование, производство, сенсорные сети, управление светофором и других. Ниже концепция холонов будет применена для интеллектуальных сетей.

*Холоническая интеллектуальная сеть.* Наряду с тем, что интеллектуальная сеть имеет различные типы компонентов: электропотребители, Microgrid (микросеть), энергетические узлы и другие, каждый из компонентов можно рассматривать как ГП. Генерирующий потребитель является общим термином, который относится к системе, которая самостоятельно управляет своими энергетическими ресурсами и возможность двунаправленного обмена энергией с окружающей сетью [10]. Генерирующий потребитель может быть таким же простым, как обычной электропотребитель, который самостоятельно управляет своими энергетическими ресурсами (такими как приборы, ВИЭ, системы аккумулирования энергии, электромобили и т.д.).

Генерирующие потребители имеют тенденцию объединяться вместе и формировать более крупный кластер, чтобы облегчить местный обмен электроэнергией, а также возможность выступать как единое целое для обмена энергией с остальной сетью. Объединение ГП представляет собой более крупный ГП на следующем уровне агрегирования.

Возможность автономной работы, способность к агрегированию в слои, статическая и динамическая адаптация интеллектуальных сетей, основанных на ГП, тесно связана и соответствуют свойствам холонической системы [11]. При этом соответствующим образом можно моделировать каждого ГП как холона, а всю интеллектуальную сеть как холархию. Интеллектуальная сеть-холархия имеет следующие основные функции, которые способствуют общей энергоэффективности системы: автономии ГП, обновляемой повторяющейся агрегация холонов, динамической реконфигурации, на основе методов искусственного интеллекта и информационных технологии. Также в интеллектуальной холонической сети успешно могут быть решены задачи информационной безопасности и конфиденциальности, в частности личной жизни.

Поскольку ГП имеют собственные источники генерации, они получают гибкость в управлении своими графиками нагрузки. Кроме того, они, как правило, могут автономно управлять своими ресурсами для оптимизации своего энергопотребления и собственных расходов. Это соответствует растущим тенденциям активного участия электропотребителей в интеллектуализации управления режимами сети. ГП-холон может также быть частью более крупного ГП-холона и обмениваться энергией с окружающим или работать как самостоятельной элемент и поставлять энергию в изолированные части системы.

Это способность к автономии ГП-холонов создаёт условия распределённой генерации в интеллектуальной сети, которой в противном случае было бы очень сложно управлять централизованно. Автономия ГП-холонов существенно усложняет координацию интеллектуальной системы, но соответствующие управленческие механизмы могут быть разработаны для достижения желаемых атрибутов интеллектуальной сети. Автономия также способствует энергосбережению в процессе электропотребления.

Восходящая организация на разных уровнях агрегирования обеспечивает эффективную структуру холархии, которая упрощает координацию системы. Более того, агрегирование ГП-холонов в суперхолоны может повышать надежность электроснабжения, поскольку графики нагрузок отдельных холонов могут выравнивать друг друга. Кроме того, внутрисетевые энергетические обмены между холонами одного уровня холархии уменьшают как потери на передачу (транспорт), активной мощности, так и дорогостоящие инвестиционные затраты для повышения пропускной способности линии и удовлетворения постоянно растущих энер-

гетических потребностей.

Аналогичным образом соседние интеллектуальные электрические сети могут сформировать районные электрические сети, как более крупный ГП-холон на следующем уровне агрегирования. Такая кластеризация может быть повторена на разных уровнях агрегирования, чтобы эффективно адаптироваться к изменениям в окружающей среде.

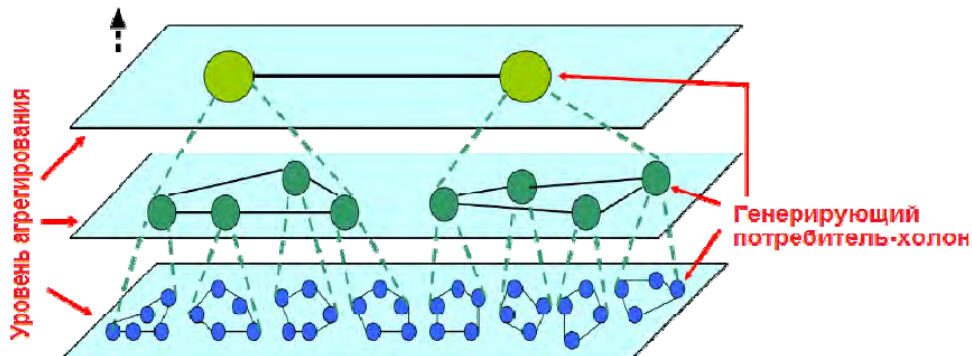


Рисунок 3. Холархия интеллектуальной сети из ГП-холон

**Заключение.**

1 Предложен расширенный смысл концепции Smart Grid, исходя из её аббревиатуры, определяющий системные критерии и основные атрибуты поставленной цели. При этом отмечается важная отличительная особенность такой интеллектуальной сети, как возможность осуществления двусторонних потоков энергии и информации с функцией аккумулярования.

2 Рассмотрено новое понятие – холонический подход – в концепции и технологии Smart Grid. Оно предполагает построение общей системы как совокупности холон (подсистем), различной природы и состоящих между собой во взаимосвязи. В свою очередь холоны могут создавать новые объединения путём агрегирования на более высоком уровне. Таким образом, возникает некоторая многоуровневая система иерархической природы которая названа холархией.

3 Введен новый термин, а именно: «Генерирующей потребитель-холон» (ГП-холон). Термин подразумевает способность электропотребителя самостоятельно генерировать энергию с помощью возобновляемых источников, аккумуляровать её и обмениваться энергией с другими себе подобными ГП-холонами и основной генерирующей станцией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Хасанзода, Н. К вопросу внедрения инновационных технологий Smart Grid в энергетические комплексы / Н. Хасанзода // Мат-лы XXV межд. науч.-практ. конф.: Инновационное развитие технических наук в XXI веке. -М.: Международное научное объединение «Prospero», 2016. - С. 100-103.

2 Amin, S.M. Toward a Smart Grid / S.M. Amin, B.F. Wollenberg // -IEEE P&E Magazine. -2005. - September/October.

3 Final report of the CEN/CENELEC/ETSI Joint Working Group on Standards for Smart Grids, available at. -Режим доступа: <ftp://ftp.cenelec.eu/CENELEC/Smart-grid/SmartGridFinalReport.pdf>. -20.10.2017

4 European Commission Directorate-General for Research Information and Communication Unit European Communities. «European Technology Platform Smart Grids, Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the future. European Communities, 2006. -Режим доступа: [https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf). - 20.10.2017

5 Манусов, В.З. Создание интегрированной системы электроснабжения острова Русский и управление её режимами / В.З. Манусов, Н.Хасанзода, Дж.С. Ахъёев // - Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дальн. Вост. -2017. -№1-2. -С. 142-145.

6 Силин, Н.В. К вопросу внедрения инновационных технологий Smart Grid в систему электроснабжения острова Русский / Н.В. Силин, В.А Кислюков, Н. Хасанзода, Е.П. Манаков, Ф.М. Рахимов // Современные технологии и раз-

1 Khasanzoda N., Concerning the innovation and implementation of Smart Grid technologies to the power systems [K voprosu vnedreniya innovatsionnykh tekhnologiy Smart Grid v energeticheskie komplekxy]. Innovatsionnoe razvitie tekhnicheskikh nauk v XXI veke. Moscow: Prospero Publ. 2016. pp. 100-103.

2 S.M. Amin and B.F. Wollenberg, "Toward a Smart Grid Power Delivery for the 21st Century", IEEE Power Energy Magazine, Vol. 3, No. 5, 2005, pp. 34-41. doi10.1109/MPAE.2005.1507024

3 Final report of the CEN/CENELEC/ETSI Joint Working Group on Standards for Smart Grids, available at. URL: <ftp://ftp.cenelec.eu/CENELEC/Smart-grid/SmartGridFinalReport.pdf>. -October 20, 2017

4 European Commission Directorate-General for Research Information and Communication Unit European Communities. «European Technology Platform Smart Grids, Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the future. European Communities, 2006. URL: [https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf). -October 20, 2017

5 Manusov V.Z, Khasanzoda N, Akh'eev J.S., Creation of an integrated system of electric power supply for the Russky Island and management of its modes [Sozdanie integrirovannoy sistemy elektrosnabzheniya ostrova Russkiy i upravlenie ee rezhimami]. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2017. No. 1-2. pp. 142-145.

6 Silin N.V, Kislyukov V.A, Khasanzoda N, Manakov E.P, Rakhimov F.M., Concerning the implementation of challenging Smart Grid technologies to the power system of Russky Island [K voprosu vnedreniya innovatsionnykh tekhnologiy Smart Grid v sistemu elek-

витие политехнического образования: межд. науч. конф. 19-23 сентября 2016 г. -Владивосток: Дальн. Фед унив., 2016. -С.382-386.

7 Koestler, A. The Ghost in the Machine / A. Koestler. Reprint edition. Penguin Group, 1990.

8 Giret A. Holons and agents / A. Giret, V. Botti // - Journal of Intelligent Manufacturing. -2004. -vol. 15, -No. 5, - PP. 645-659.

9 Baken, N. Holons and Holarchies, TEDx Amsterdam 2009. -Режим доступа: <http://www.tedxamsterdam.com/2009/video-nico-baken-on-holons-and-holarchies/> -20.10.2017

10 Hatziaargyriou, N. MICROGRIDS - large scale integration of micro-generation to low voltage grids / N. Hatziaargyriou, N. Jenkins, G. Strbac, J.A.P. Lopes, J. Ruela, and A. Engler // -CIGRE. -2006. -C6-309.

11 Negeri E., Baken N. Smart integration of electric vehicles in an energy community / E. Negeri, N. Baken // In Proceedings of the 1st International Conference on Smart Grids and Green IT Systems, Apr. 2012. -PP. 25-32.

troshabzheniya ostrova Russkiy. Sovremennye tekhnologii i razvitiye politekhnicheskogo obrazovaniya]. Modern technologies and engineering education development [Sovremennye tekhnologii i razvitiye politekhnicheskogo obrazovaniya]. Vladivostok: Far Eastern Federal University. September 19-23, 2016. pp. 382-386.

7 A. Koestler, The Ghost in the Machine (1990 reprint edition), Penguin Group, ISBN 0-14-019192-5.

8 A. Giret and V. Botti, "Holons and agents", Journal of Intelligent Manufacturing. 2004. Vol. 15. No. 5. pp. 645-659.

9 N. Baken, "Holons and Holarchies", TEDx Amsterdam 2009 [online]. URL: <http://www.tedxamsterdam.com/2009/video-nico-baken-on-holons-and-holarchies/> -October 20, 2017

10 N. Hatziaargyriou, N. Jenkins, G. Strbac, J.A.P. Lopes, J. Ruela, and A. Engler, "MICROGRIDS - large scale integration of micro-generation to low voltage grids". CIGRE C6-309, 2006.

11 E.Negeri, and N. Baken, "Smart integration of electric vehicles in an energy community", In Proceedings of the 1st International Conference on Smart Grids and Green IT Systems. Apr. 2012. pp. 25-32.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** интеллектуальная сеть, Smart Grid, холон, холархия, двусторонний поток энергии, возобновляемые источники энергии, накопитель энергии

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор НГТУ  
Хасанзода Насрулло, аспирант НГТУ

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ОДНОФАЗНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ С ОЦЕНКОЙ ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

**ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»**

**В.В. Иванов, С.В. Мятеж, И.В. Дубинина**

### **ANALYSIS OF OUTPUT VOLTAGE REGULATION METHODS OF SINGLE-PHASE CONTROLLED RECTIFIERS WITH THE EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY**

**Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia**

**Vladlen V. Ivanov** (Graduate student of NSTU)

**Sergey V. Mytezh** Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of NSTU)

**Irina V. Dubinina** (Student of NSTU)

**ABSTRACT:** The article discusses the use of sector control and pulse-width modulation to increase the value of power factor of the zone-phase rectifiers.

**Keywords:** power factor, sector control, distortion factor, pulse-width modulation

Рассматривается использование секторного метода регулирования и широтно-импульсной модуляции с целью повышения значения коэффициента мощности зонных преобразователей.

Одним из основных вопросов стратегии является повышение эффективности перевозочного процесса, достижение энергетической эффективности железнодорожного транспорта в целом, в том числе и на тягу поездов. Одним из основных показателей управляемых однофазных выпрямителей является коэффициент мощности, определяющий энергетическую эффективность использования электрической энергии переменного тока. Для управляемых выпрямителей характерны сравнительно низкие значения коэффициента мощности, которые в зависимости от глубины регулирования выходного напряжения лежат в пределах от 0,2 до 0,85.

Повысить энергетические показатели однофазных управляемых полупроводниковых выпрямителей возможно тремя способами:

- применение новых схемных решений и способов управления преобразователем;
- использование дополнительного силового оборудования или узлов искусственной коммутации, такие как компенсаторы реактивной мощности, конденсаторные батареи, фильтры, корректоры и т.д.;
- организационные мероприятия по рациональному построению схем электроснабжения [1].

Рациональным способом повышения энергетических показателей управляемых выпрямителей с точки зрения капиталовложения является использование применения новых спо-

собоу управления преобразователем, которые сопровождаются модернизацией схемного решения с применением полностью управляемых полупроводниковых приборов.

Для сравнения способов регулирования выходного напряжения однофазных управляемых полупроводниковых выпрямителей следует оценить факторы, от которых зависит коэффициент мощности:

$$\chi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + T^2}} = K_c \cdot K_u, \quad (1)$$

где  $P, Q, T$  – соответственно, активная, реактивная мощность и мощность искажений;

$K_c$  – коэффициент сдвига;

$K_u$  – коэффициент искажения.

Одним из способов регулирования выходного напряжения является амплитудный способ, основанный на переключении секций трансформатора, подключенных с помощью коммутирующих аппаратов к неуправляемому выпрямителю. Коэффициент мощности выпрямителя с амплитудным методом регулирования зависит лишь от коэффициента искажения, так как сдвиг первой гармоники сетевого тока относительно напряжения равен 0. Поэтому коэффициент мощности на всём диапазоне регулирования выходного напряжения равен 0,9. Недостаток данного способа заключается в невозможности плавного регулирования выходного напряжения [1].

С развитием полупроводниковых приборов стало возможным появление новых способов регулирования напряжения, таких как фазовый метод регулирования напряжения, в основе которого лежит принцип задержки отпираания тиристора, как электронного ключа, от длительности проводящего состояния которого зависит величина среднего выпрямленного напряжения [2].

Коэффициент мощности при фазовом регулировании в большей степени зависит от коэффициента сдвига. Фазовый способ обеспечивает плавное регулирование выходного напряжения. Существенным недостатком способа является генерация значительной реактивной мощности, что в целом снижает энергетические показатели выпрямителей [3].

Объединение двух выше сказанных способов позволяет получить амплитудно-фазовый или зонный способ регулирования выпрямленного напряжения, использование которого существенно улучшает энергетические показатели выпрямителя. Зонное регулирование напряжения выпрямителя осуществляется, переключением числа витков вторичных обмоток трансформатора за счет особенностей схемного решения выпрямителя, и плавным фазовым регулированием на каждой включающейся вторичной обмотке трансформатора, называемой зона регулирования.

Низкие значения коэффициента мощности наблюдаются на первой зоне регулирования где преобразователь работает с фазовым способом что способствует генерации реактивной мощности. На второй и последующих зонах регулирования средний коэффициент мощности равен 0,92, однако в целом средневзвешенный коэффициент мощности выпрямителя в номинальном режиме равен 0,84. Следовательно, необходимо заменить фазовый способ регулирования напряжения на более энергетически эффективный [4].

Повышение коэффициента мощности может быть выполнено за счет использования в силовой схеме управляемых силовых транзисторов, таких как IGBT. За счет этого открываются широкие возможности для реализации новых способов управления преобразователем, что в свою очередь улучшает энергетические показатели преобразователя.

Одним из энергоэффективных способов управления преобразователем является секторное регулирование. При этом регулирование выпрямленного напряжения осуществляет-

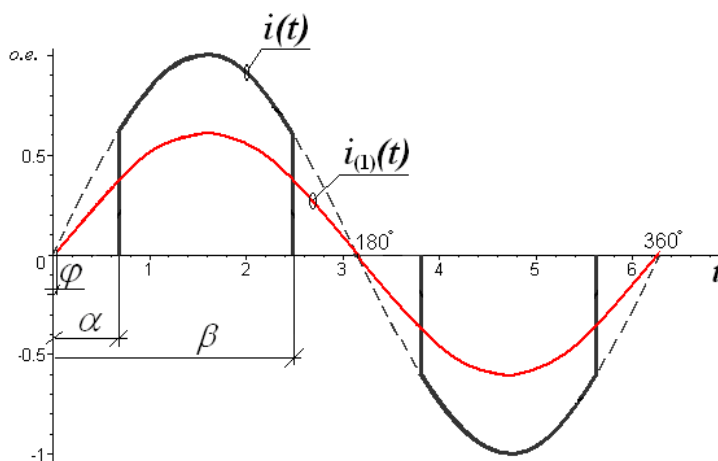


Рисунок 1 – Кривая сетевого тока и его первой гармоники выпрямителя в случае секторного регулирования

ся смещение по фазе на угол  $\alpha$  переднего фронта и дополняется смещением заднего фронта на угол  $\beta$  в направлении опережения (рисунок 1). В идеализированном случае мгновенной коммутации тока при равенстве углов  $\alpha$  и  $\beta$  сдвига по фазе первой гармоники тока не происходит, и характеристика коэффициента мощности существенно повышается за счет устранения сдвига  $\varphi$  первой гармоники первичного тока относительно кривой питающего напряжения [5].

В результате коэффициент мощности будет зависеть только от коэффициента искажения тока, равному отношению действующего значения первой гармоники тока первичной обмотки трансформатора, к действующему значению первичного тока:

$$\chi = f(K_c \cdot K_u) = f(\cos \varphi \cdot \nu); \quad (2)$$

$$K_c = \cos \varphi = 1; \quad (3)$$

$$\chi = f(K_u). \quad (4)$$

Значение коэффициента мощности при секторном способе регулирования выше фазового в среднем на 22% при  $K_c = 1$  [6].

Дальнейшее повышение энергоэффективности преобразователей осуществляется за счет повышения значения коэффициента искажения КИ. Одним из таких методов управления является широтно-импульсная модуляция (ШИМ).

Модуляция при ШИМ осуществляется подачей на вход системы управления напряжения управления определенной формы. Это напряжение сравнивается с пилообразным опорным напряжением. При изменении амплитуды модулирующего напряжения изменяется величина выходного напряжения.

За счет того, что при ШИМ регулировании напряжение на выходе вытянуто на всём диапазоне регулирования, а среднее значение его имеет синусоидальный вид, можно предположить, что метод ШИМ улучшает характеристику коэффициента мощности путём уменьшения влияния высших гармоник.

Для определения и сравнения влияния высших гармоник необходимо провести гармонический анализ кривых тока и определить коэффициент искажения  $K_u$  при секторном и ШИМ регулировании.

С помощью аналитической модели в среде Mathcad определена зависимость коэффициента мощности от выпрямленного напряжения (рисунок 2).

Для получения наибольших энергетических показателей преобразователя необходимо объединить секторный и ШИМ методы регулирования напряжения. В результате на диапазоне коэффициента заполнения от 0 до 8,2% система управления работает по закону ШИМ регулирования, а на диапазоне от 8,2 до 100% управление происходит по закону «Секторное+ШИМ» регулирование.

**Выводы:**

1 Применение секторного принципа на первой зоне регулирования повышают энергетические показатели зонного выпрямителя в среднем на 22%.

2 Применения принципа широтно-импульсной модуляции энергетические показатели выпрямителя, как показывает аналитическое моделирование, дополнительно повышаются, относительно секторного способа, только на первых 8,2% диапазона регулирования.

3 Для получения наибольших энергетических показателей преобразователя необходимо объединить секторный и ШИМ методы регулирования напряжения.

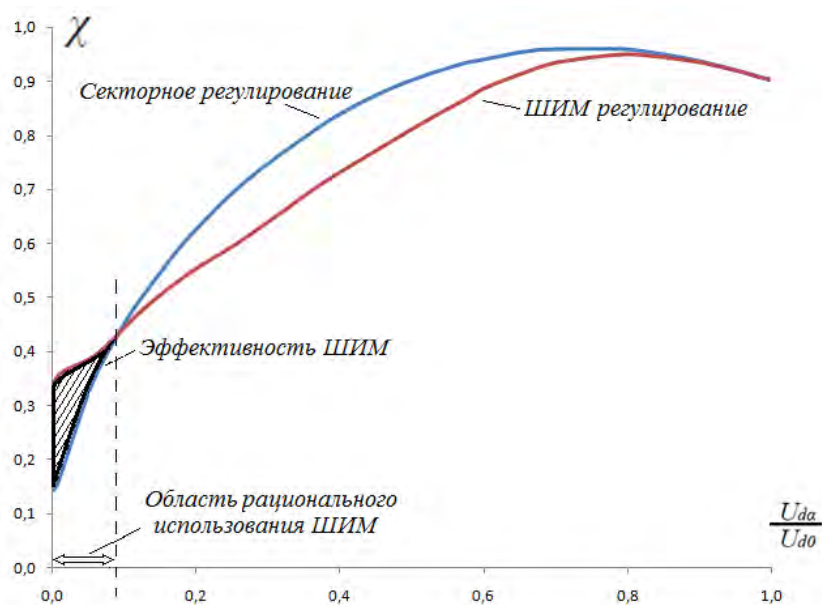


Рисунок 2 – Зависимости коэффициентов мощности для секторного и ШИМ методов управления

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Плакс, А.В. Системы управления электрическим подвижным составом / А.В. Плакс. -М.: Маршрут, 2005. -360 с.  
 2 Тихменев, Б.Н. Электровозы переменного тока со статическими преобразователями / Б.Н. Тихменев. - М.: Гос. трансп. ж.д. изд-во, 1958. -267 с.  
 3 Зиновьев, Г.С. Силовая электроника: монография / Г.С. Зиновьев. -М.: Юрайт, 2012. -667 с.  
 4 Евдокимов, С.А. Структурный синтез многофазных вентильных преобразователей: монография / С.А. Евдокимов, Н.И. Щуров. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-в., 2010. -423 с.  
 5 Мятаж, С.В. Совершенствование зонных выпрямителей/ С.В. Мятаж, Н.И. Щуров, М.М. Джаборов // -Изв. высш. уч. заведений: Электромеханика. -2012. -№6. -С. 40-45.  
 6 Иванов, В.В. Пути повышения энергетических показателей зонных выпрямителей / В.В. Иванов, С.В. Мятаж, Н.И. Щуров, А.А. Сергеев // -Фундаментальные исследования. -2014. -№9. -Ч.7. -С. 1441-1445.

1 Plaks A.V., Rail transport operation control systems [Sistemy upravleniya elektricheskim podvizhnym sostavom]. Moscow: Marshrut Publ. 2005. 360 p.  
 2 Tikhmenev B.N., AC electric locomotives with static converters [Elektrovozy peremennogo toka so staticheskimi preobrazovatelyami]. Moskva: State Transport Railway Publishing House. 1958. 267 p.  
 3 Zinov'ev G.S., Power electronics [Silovaya elektronika]. Moscow: Yurayt Publ. 2012. 667 p.  
 4 Evdokimov S.A., Shchurov N.I., Structured synthesis of multi-phase valve inverters [Strukturnyy sintez mnogofaznykh ventil'nykh preobrazovateley]. Novosibirsk: Novosibirsk st. tech. univ. Publ. 2010. 423 p.  
 5 Myatezh S.V., Shchurov N.I., Dzhaborov M.M., Development of rectifiers with zone phase control [Sovershenstvovanie zonnykh vypryamiteley]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. 2012. No. 6. pp. 40-45.  
 6 Ivanov V.V., Myatezh S.V., Shchurov N.I., Sergeev A.A., Ways of improvement the energy efficiency of rectifiers with zone phase control [Puti povysheniya energeticheskikh pokazateley zonnykh vypryamiteley]. Fundamental'nye issledovaniya. 2014. No. 9. Vol. 7. pp. 1441-1445.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** коэффициент мощности, секторное регулирование, коэффициент искажения, широтно-импульсная модуляция  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Иванов Владлен Владимирович, аспирант НГТУ  
 Мятаж Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент НГТУ  
 Дубинина Ирина Валерьевна, студент НГТУ  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ

## ЛИНЕЙНЫЕ УСТРОЙСТВА ТЯГОВОЙ СЕТИ НА БЕСКОНТАКТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯХ С НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

**Е.А. Янцен, В.И. Сопов**

**LINE COMPONENTS OF TRACTION POWER SYSTEM BASED ON PROXIMITY SWITCHES WITH POWER CAPACITORS**  
 Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia  
**Egor A. Yantsen** (Master's Degree of NSTU)  
**Valentin I. Sopov** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of NSTU)

**ABSTRACT:** The paper reviewed prospective technical solutions for line components of traction power network, aimed at improving energy efficiency and reliability of components.

**Keywords:** electric transport, traction power system, power capacitors

Рассматриваются перспективные технические решения для линейных устройств тяговой сети, которые ориентированы на повышение энергоэффективности и надёжности устройств.

Одним из приоритетных направлений развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации является организация высокоскоростного (свыше 250 км/ч) и тяжеловесного (с весовой нормой 10 000 т) движения поездов. Успешное выполнение намеченных планов немыслимо без совершенствования инфраструктуры электроснабжения железных дорог. По данным ОАО «РЖД», в 2016 году протяженность электрифицированных железнодорожных линий в России составляла около 43,3 тыс. км, из которых примерно на 18,5 тыс. км использовалась система тяги 3 кВ постоянного тока.

Кроме того, развитие системы легкорельсового транспорта – оптимальный вариант решения транспортной проблемы в крупных городах. Как показывает опыт развитых стран и расчеты отечественных исследователей, именно этот вид транспорта наилучшим образом сочетает в себе такие качества, как высокая провозная способность, скорость, экологичность, комфортабельность, безопасность и сравнительно низкая стоимость [4].

Важной проблемой, связанной с созданием системы тяги постоянного тока, является разработка устройств и элементов систем тягового электроснабжения, в частности, соответствующего преобразовательного и коммутационного электрооборудования постоянного тока, способного обеспечить надежное и эффективное функционирование электрифицированного железнодорожного транспорта.

Таким образом, настоящая работа посвящена разработке целесообразных решений по



преобразовательному, распределительному и коммутационному оборудованию для линейных устройств тяговой сети с учетом вышеизложенных требований и исследованию эффективности их работы.

Принимаемые при разработке систем тягового электроснабжения постоянного тока технические решения, должны быть ориентированы на повышение энергоэффективности, надежности и безопасности обслуживания линейных устройств тяговой сети, а также учитывать современный уровень развития техники, кроме того, по возможности, на снижение капитальных затрат при их строительстве и эксплуатации.

Бесконтактная коммутационная аппаратура для фидеров постоянного тока на основе управляемых полупроводниковых приборов имеет неоспоримые преимущества по основным техническим показателям в сравнении с традиционными контактными выключателями. Она имеет лучшее быстродействие и более высокий коммутационный ресурс, поэтому будет особо привлекательна для использования в линейных устройствах тяговой сети [3].

Базовым элементом является силовой транзистор вида IGBT модулей большой мощности на токи от 400 до 3600 А и напряжения до 3300 В. В схемах составные модули будем представлять одиночными ключами.

Создание и применение мощных накопителей энергии является важным направлением для электрифицированных железных дорог. Они позволяют оптимально использовать энергию рекуперации для нужд тяги, улучшить качество электроэнергии, сглаживать суточную неравномерность потребления электроэнергии от энергосистем, оптимизируя себестоимость перевозок [1].

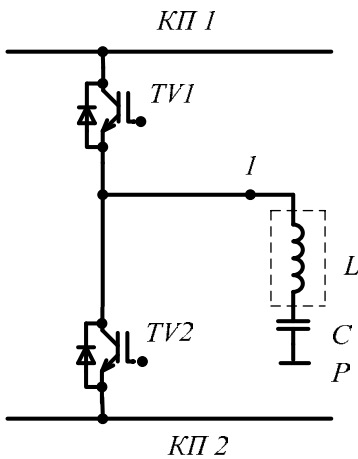


Рисунок 2 – Пункт соединения контактных подвесок (ТПК) параллельных путей (КП1, КП2) транзисторными ключами с ёмкостным накопителем

Схема транзисторного пункта соединения контактных подвесок (ТПК) с ёмкостным накопителем показан на рисунок 2.

Принцип работы ТПК состоит в следующем: при неравенстве напряжений на КП 1 и КП 2 токи притекают к общей точке 1 и далее через транзисторы TV1 и TV2 в сеть. Избыточная энергии электрических торможений запасается в накопителе, из которого поступает к ЭПС при тяговом режиме. Транзисторные ключи выполняют также функции защитных аппаратов, то есть при появлении сверхтоков закрывают (прерывают) электрическую цепь. При подводе питания в общую точку 1 ТПК выполняет роль распределительного устройства (РУ). Из двух ТПК можно сформировать четырёхфидерный пост секционирования или соответствующее РУ. Таким образом, ТПК является универсальным многофункциональным устройством.

Преимущество бесконтактных выключателей постоянного тока перед традиционными контактными выключателями неоспоримо, данный вывод сделан на основании проведённого анализа конструкции и принципа действия известных типов выключателей постоянного тока. Следует учитывать, что они обладают гораздо большим быстродействием, меньшими затратами на обслуживание и на порядок большим ресурсом работы [2].

При этом бесконтактный выключатель с блоком принудительной коммутации по своему быстродействию и токоограничивающей способности практически реализует идеальное отключающее устройство.

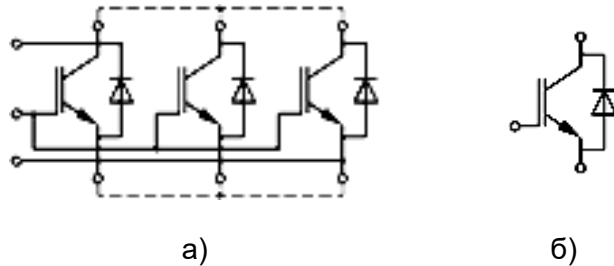


Рисунок 1 – Схема IGBT модуля типа МТКИ-1200-33, параметры:  $I_n = 1200 \text{ A}$ ,  $U_n = 3300 \text{ В}$ ,  $U_{из} = 6,0 \text{ кВ}$ : а)-схема электрическая; б)-представление в схемах

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Елисеев, В. Современная отечественная элементная база для силовой преобразовательной техники / В. Елисеев, В. Мартыненко, В. Мускатиньев, В. Чибиркин

1 Eliseev V., Martynenko V., Muskatin'ev V., Chibirkin V., Modern national hardware components for power electronics [Sovremennaya otechestvennaya elementnaya baza dlya silovoy preobra-



// -Силовая электроника. -2005. -№3. -С. 12-15.

2 Пупынин, В.Н. Идеальный выключатель постоянного тока / В.Н. Пупынин, В.А. Мартюкова // -Электроника и электрооборудование транспорта. -2013. -№6. -С. 17-20.

3 Сопов, В.И. Системы электроснабжения электрического транспорта на постоянном токе / В.И. Сопов, Н.И. Щуров. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. унив., 2013. -728 с.

4 Щуров, Н.И. Prospects for light=rail transport in Russian cities / Н.И. Щуров, М.Ю. Никулин // -Транспорт Российской Федерации. -2011. -№2 (33). -С.26-29.

zovatel'noy tekhniki]. Silovaya elektronika. 2005. No. 3. pp. 12-15.

2 Pupyin V.N., Martyukova V.A., Perfect DC switch [Ideal'nyy vyklyuchatel' postoyannogo toka]. Elektronika i elektrooborudovanie transporta. 2013. No. 6. pp. 17-20.

3 Sopov V.I., Shchurov N.I., Systems of electric power supply of DC electric transport [Sistemy elektrosnabzheniya elektricheskogo transporta na postoyannom toke]. Novosibirsk: Novosibirsk st. techn. univ. Publ. 2013. 728 p.

4 Shchurov N.I., Nikulin M.Yu., Prospects for light=rail transport in Russian cities. Transport Rossiyskoy Federatsii. 2011. No. 2 (33). pp. 26-29.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *электрический транспорт, система тягового электроснабжения, накопители энергии*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Янцен Егор Александрович, магистрант НГТУ*

*Сопов Валентин Иванович, канд. техн. наук, доцент НГТУ*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ*

## **ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА**

**ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»**

**К.И. Куликов, Н.И. Щуров**

### **TRENDS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE AUTONOMOUS ELECTRIC TRANSPORT**

**Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia**

**Kirill I. Kulikov** (Graduate student of NSTU)

**Nikolay I. Shchurov** (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of NSTU)

---

**ABSTRACT:** The today's state of autonomous electric transport market is considered, appropriate solutions are proposed. Authors presented their own vision for the future direction of industry development which based on the analysis of scientific publications and manufacturers' strategy.

**Keywords:** *autonomous electric transport, electric autonomous bus, battery, fuel cell, supercapacitor, hybrid power unit*

---

Рассмотрено современное состояние рынка автономного электрического транспорта, представлены существующие решения. На основе анализа научных публикаций и стратегии автопроизводителей авторами предложено собственное видение дальнейшего направления развития индустрии.

Современный сектор автономных электротранспортных средств переживает эпоху интенсивного развития. К 2035 г, как показано в исследовании, проведенном Национальной ассоциацией нефтегазового сервиса Российской Федерации, электромобили займут не менее 50% рынка автомобилей [1]. И это при том, что исследования в области оптимизации процесса горения в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) не прекращаются, и их потенциал продолжает раскрываться. То же самое можно сказать и о развитии транспорта с гибридными силовыми установками [2, 10].

Не менее важен тот факт, что автономный электрический транспорт, как один из трендов современности, увлекает за собой другие сферы производства, способствуя проведению новых исследований в области источников питания, электрических двигателей, систем технического зрения и, соответственно, снижению себестоимости единицы продукции.

Все эти факторы вкупе с современными тенденциями повсеместного внедрения энергосберегающих технологий побуждают мировые автоконцерны переходить к проектированию новых типов транспортных средств, функционирующих по новым технологическим принципам.

В настоящее время существует довольно много примеров успешной реализации автономного транспорта. Так, мировым лидером в сфере производства индивидуальных электротяговых транспортных средств является компания Tesla, модельный ряд которой насчитывает 3 единицы: Model S, Model X и Model 3. Как заявляет компания, пробег на 1 заряде литий-ионной аккумуляторной батареи (ЛИА) составляет от 380 до 540 км в зависимости от выбранной модели и емкости аккумуляторов, которая доступна в комплектациях 60-100 кВт·ч. Также ожидается, что в конце 2017 – начале 2018 г компания пополнит свой ассортимент электротягачом [13].

Российские разработки в сфере автономного электротранспорта касаются преимущественно социально значимых объектов. В связи с этим стоит отметить, что мэром Москвы Сергеем Собяниным объявлен конкурс на поставку 300 единиц электрических автобусов, побе-

дители которого будут объявлены в 2017-2018 г. В перспективе власти столицы планируют ежегодно закупать по 300 электробусов, чтобы реализовать стратегию по отказу от общественного транспорта на газомоторном топливе к 2021 г [7]. В рамках этого конкурса на выставке Bus World Russia – 2016 представлен электробус КАМАЗ-6282, далее направленный на испытания в Москву по маршруту ст. метро «Славянский бульвар»-«Сколково». В качестве источника питания в нем используются литий-титанатные аккумуляторы энергоемкостью 70,4 кВт·ч и максимальным запасом хода 70 км. Примечательно, что процесс заряда может проводиться как от полупантографов, так и от промышленной сети 3-фазного переменного тока посредством бортового зарядного устройства [5].

В конце того же 2016 г на выставке «ЭкспоСитиТранс» представлен электробус особо большой вместимости ЛиАЗ-6274, сконструированный на базе низкопольного ЛиАЗ-5292. В настоящий момент автобус проходит испытания по маршруту М2 Фили-ст. метро «Китай-Город» (рисунок 1), где в последующем также будет протестирован китайский аналог марки Yutong. Автобус укомплектован литий-марганцевой аккумуляторной батареей, выдерживающей до 5000 зарядно-разрядных циклов. Это позволит, используя модульный подзаряд в течение дня, довести пробег электробуса в сутки до 200 км. Под внедрением данного модуля подразумевается продолжительный по времени заряд между дневным сообщением, а также несколько подзарядок по 20-30 минут, которые можно осуществлять на конечных остановках маршрута. Примечательно, что автобус оснащен ДВС, подключаемым для работы системы отопления салона [4].



*Рисунок 1 – Электробус ЛиАЗ-6274 на маршруте в Москве*

На ряду с испытаниями отечественных экологически чистых транспортных средств активные разработки проводит финская компания Linkker. Ее электробус Linkker 12+ начинает свой тестовый маршрут на Кутузовском проспекте. Машина оснащается выдвижным полупантографом, с помощью которого, взаимодействуя с зарядной станцией мощностью 350 кВт, литий-титанатную батарею можно полностью зарядить не более, чем за 10 мин. Энергоемкость такого источника питания может достигать 64 кВт·ч и, по заверениям производителей, с учетом полной загрузки и отрицательной температуры она способна обеспечить до 50 км пробега. Питание системы отопления также обеспечивается автономным дизельным двигателем [8].

Использование аккумуляторных батарей – не единственный способ обособить электрический транспорт от контактной сети. Использование водорода в качестве топлива – один из таких методов. Так, на Всемирном экономическом форуме в Давосе в 2017 г Toyota, в партнерстве с двенадцатью ведущими индустриальными компаниями, дала старт глобальной инициативе по переходу к новой энергетической модели на основе водорода. На форуме объявлено о создании Всемирного Совета по водородным технологиям. В задачи Совета входит работа с правительствами и бизнес-кругами разных стран для привлечения внимания к преимуществам водородной энергетики. Сюда же стоит отнести объединенные инвестиции в развитие водородных автомобилей и инфраструктуры, объем которых на ближайшие 5 лет может достичь 1,5 млрд. \$.

В рамках этой программы в Японии при подготовке к Олимпийским играм 2020 г. в Токио Toyota наладила выпуск автобусов на топливных элементах (ТЭ), энергоносителем для которых является водород. Автобус модели Toyota FC Bus, показанный на рисунке 2, передан правительству Токио, и уже с марта 2017 г. перевозит пассажиров в центре столицы. По заверениям автопроизводителя, к 2020 г. автобусный парк Токио будет насчитывать не менее 100 единиц пассажирского транспорта на ТЭ. Большинство технических характеристик транспортного средства автоконцерн не раскрывает, но известно, что в движение автобус приводится двумя электрическими двигателями по 114 кВт, а для реализации нужной продолжительности автономного хода автобус оснащен резервуарами с водородом объемом 480 л.

Мировой флагман в области автомобилей на ТЭ – легковой автомобиль Toyota Mirai. Этот водородомобиль удостоен звания «Лучшего экологичного автомобиля года в мире» по

результатам конкурса World Green Car of the Year в марте 2016 г.

Технические параметры Mirai (что в переводе с японского означает «Будущее») наглядно подтверждены результатами недавнего экологического ралли e-Rally Monte-Carlo в сентябре 2017 г. В соревновании, проходившем по маршруту Фонтенбло-Монако, участвовали только автомобили с «нулевым» уровнем вредных выбросов. Решающим преимуществом Mirai, обеспечившим превосходство автомобиля на трассе, является силовая установка с запасом хода, достигающим 650 км [15].

Немногом ранее, в январе 2016 г, китайский производитель автобусов Youtong в рамках саммита China EV100 официально представил свой вариант автобуса на ТЭ. А в мае 2016 г на выставке Beijing Bus & Truck Expo презентовано третье по счету обновление. По словам представителей компании, при сохранении заданных темпов роста к 2020 г. концерном будет реализовано около 1000 единиц автобусов на водородном топливе [16].

Еще одним двигателем интенсивного развития автономного транспорта можно считать суперконденсаторы (СК). Общеизвестно, что эти устройства характеризуются высокой удельной мощностью (1000-10000 Вт/кг, у ЛИА – 200-250 Вт/кг), возможностью работы в широком диапазоне температур (-45 ... +65 °С) и значительным ресурсом (до 1 000 000 циклов заряда/разряда у СК, против 3000 у ЛИА). Эти факторы обуславливают перспективность применения СК в транспортной индустрии, характеризующейся работой в условиях резких и значительных изменений требуемой мощности, а также частой сменой погодных и климатических условий. Немаловажную роль играет и экономическая составляющая. Так, по прогнозам экспертов, на 2020 г. рынок СК будет насчитывать 3,1 млрд. \$, а к 2025 г возрастет до 8 млрд. \$. На 2015 г доля транспорта, как потребительского сегмента СК, составляла 23,6% от общемирового рынка сбыта [6, 9].

Одними из первых, в 2002 г, интерес к этой области проявили китайские ученые. Их целью являлся поиск способа, позволяющего отказаться от троллейбусной контактной сети Шанхая. Уже к 2010 г. на улицы города было выведено более 60 автобусов, питаемых от СК, перевезено более 20 млн. пассажиров, а суммарный пробег составлял более 640 тыс. км. Сейчас эта сфера продолжает развиваться [12].

30-31 марта 2017 г. на выставке City Trans Ukraine в Киеве представлен электробус на СК E420 Vitovt Electro белорусского предприятия «Белкоммунмаш». В качестве накопителей энергии в этом транспортном средстве также выступают СК. По словам производителей, автономный пробег такого автобуса составляет 12-18 км, поэтому промежуточные остановки по ходу маршрута необходимо оборудовать зарядными устройствами (рисунок 3).

Модельный ряд белорусских производителей не ограничивается одной моделью автономного транспорта. E433 Vitovt Max Electro – двухсекционный электробус, уже с мая 2017 г. осуществляющий перевозку пассажиров в Минске по маршруту троллейбуса №59 ДС Серова-ул.Долгобродская.

Тем временем, автоконцерны стали демонстрировать широкой общественности первые электромобили с комбинированными энергоустановками (КЭУ). В рамках международного автосалона IAA, проведенного во Франкфурте в сентябре 2017 г, Mercedes-Benz представил свою новую модель – GLC F-CELL – внедорожник с асинхронной тягой и КЭУ на основе ТЭ и



Рисунок 2 – Электробус Toyota FC Bus



Рисунок 3 – Электробус E420 Vitovt Electro

ЛИА. Как гласит официальный сайт компании [14], в качестве основного энергоносителя используется водород, 4,4 кг которого достаточно для преодоления 400 км. Заполнение двух резервуаров с водородом до 100% происходит не более чем за 3 минуты, что эквивалентно времени заправки автомобиля с ДВС.

В состав тягового привода дополнительно входит ЛИА емкостью 13,8 кВт·ч, которая обеспечивает автономный ход автомобиля на 47 км. Батарея подзаряжается по технологии Plug-in, наиболее распространенной в транспортных средствах с гибридной силовой установкой. Заряд осуществляется встроенным зарядным устройством мощностью 7,2 кВт как посредством обычной розетки, так и на оборудованных зарядных пунктах. Время заряда до 100% емкости составляет 1,5 ч.

Стоит отметить, что вопрос применения ТЭ на транспорте требует дальнейшей проработки. Их эффективность сдерживается невысокой динамикой окислительно-восстановительных процессов, из-за которой ТЭ не способны снабжать энергией приводы с резко переменной нагрузкой [3]. В этой связи, тенденция гибридизации ТЭ с другими накопительными устройствами, способными питать тяговый двигатель в периоды пиковых мощностей, выглядит оправданной.

Использование водорода в качестве энергоносителя сопровождается экономико-технологическими сложностями (высокая стоимость получения, хранение в виде сжатого газа). Выгодной альтернативой водороду является метанол. Существуют метанольные ТЭ, производящие прямое преобразование  $\text{CH}_3\text{OH}$  в электрическую энергию. Однако, достигаемая ими удельная мощность, несмотря на использование платины в качестве катализатора, не превышает 1 кВт на модуль.

Решением может стать использование обогащенной водородом газовой смеси, полученной при изменении состава исходного метанола, с высокотемпературными ТЭ с полимерным электролитом (НТ-РЕМFC). В ходе реакции в таких устройствах в качестве побочного продукта выделяется угарный газ, который впоследствии оседает внутри ТЭ. Модули из таких (непрямых) метанольных ТЭ мощностью 5 кВт представлены на рынке компанией Synergy [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- 1 Соболевский, С.Б. Перспективы применения альтернативных видов топлива и развития электротранспорта / С.Б. Соболевский // Перспективы развития транспортного комплекса: мат-лы II межд. заоч. науч.-практ. конф. (4-6 окт. 2016). –Минск: Белаус. научн.-исслед. ин-т Транстехника, 2016. -С. 14-22.
- 2 Ярославцев, М.В. Энергоэффективный тяговый привод безрельсового транспортного средства: Автореферат дис. ...канд.тех.наук: 05.09.03 / Ярославцев Михаил Викторович; НГТУ. -Новосибирск, 2016. -19 с.
- 3 Группа ГАЗ представила электробус нового поколения. -Режим доступа: <http://gazgroup.ru/media/news/gruppa-gaz-predstavila-elektrobus-novogo-pokoleniya/>. -23.10.2017
- 4 Новый электробус КАМАЗ-6282 на Bus World Russia. -Режим доступа: <http://promvest.info/ru/novosti-avtoproma/novyy-elektrobus-kamaz-6282-na-bus-world-russia/>. -23.10.2017
- 5 Применение суперконденсаторов EDLC на транспортных средствах. -Режим доступа: <http://technopark-slava.ru/upload/iblock/868/868dd6eb751c8450a0290dddad2beddc.pdf>. -23.10.2017
- 6 Собынин: конкурс на закупку электробусов для Москвы планируется объявить осенью 2017 года. -Режим доступа: <http://tass.ru/pmef-2017/articles/4308667>. -23.10.2017
- 7 Финский электробус с «быстрой зарядкой» испытывают в Москве. -Режим доступа: <http://caoinform.ru/finskiy-elektrobus-s-bystroy-zaryadkoy-ispityivayut-v-moskve/>. -23.10.2017
- 8 Электрохимические суперконденсаторы и емкостная деионизация водных растворов. -Режим доступа: [http://www.elch.chem.msu.ru/rus/chteniya/f33\\_volfkovich.pdf](http://www.elch.chem.msu.ru/rus/chteniya/f33_volfkovich.pdf). -23.10.2017
- 9 INFINITI VC-Turbo: The world's first production-ready variable compression ratio engine. -Режим доступа: <http://infinitinews.com/en-US/infiniti/usa/releases/infiniti-vc-t-the-world-s-first-production-ready-variable-compression-ratio-engine>. -23.10.2017
- 10 Serenergy. -Режим доступа: <http://serenergy.com/>. -23.10.2017

- 1 Sobolevskiy S.B., Prospects of alternative fuels and development of electric transport // Specter of transportation complex development: proceedings of 2nd International virtual scientific conference [Perspektivy primeneniya al'ternativnykh vidov topliva i razvitiya elektrotransporta]. Perspektivy razvitiya transportnogo kompleksa. Minsk: Transtekhnika Publ. October 4-6, 2016. pp. 14-22.
- 2 Yaroslavtsev M.V., Power-efficient traction motor of rail-less vehicle [Energoeffektivnyy tyagovyy privod bezrel'sovogo transportnogo sredstva]. Novosibirsk: Novosibirsk st. techn. univ. Publ. 2016. 19 p.
- 3 GAZ group presented the new generation electric bus [Gruppa GAZ predstavila elektrobus novogo pokoleniya]. URL: <http://gazgroup.ru/media/news/gruppa-gaz-predstavila-elektrobus-novogo-pokoleniya/>. -October 23, 2017
- 4 Brand new electric bus KAMAZ-6282 at World Bus Russia [Novyy elektrobus KAMAZ-6282 na Bus World Russia]. URL: <http://promvest.info/ru/novosti-avtoproma/novyy-elektrobus-kamaz-6282-na-bus-world-russia/>. -October 23, 2017
- 5 Application of EDLC supercapacitors in vehicles [Prime-nenie superkondensatorov EDLC na transportnykh sredstvakh]. URL: <http://technopark-slava.ru/upload/iblock/868/868dd6eb751c8450a0290dddad2beddc.pdf>. -October 23, 2017
- 6 Sobyenin: the competition for the purchase of electric buses for Moscow is scheduled to be announced in the fall of 2017 [Soby-anin: konkurs na zakupku elektrobusov dlya Moskvy planiruetsya ob'yavit' osen'yu 2017 goda]. URL: <http://tass.ru/pmef-2017/articles/4308667>. -October 23, 2017
- 7 Finnish electric bus with fast charging system is tested on route in Moscow [Finskiy elektrobus s "bystroy zaryadkoy" ispytyvayut v Moskve]. URL: <http://caoinform.ru/finskiy-elektrobus-s-bystroy-zaryadkoy-ispityivayut-v-moskve/>. -October 23, 2017
- 8 Electrochemical supercapacitors and capacitive deionization of aqueous solutions [Elektrokhimicheskie superkondensatory i emkostnaya deionizatsiya vodnykh rastvorov]. URL: [http://www.elch.chem.msu.ru/rus/chteniya/f33\\_volfkovich.pdf](http://www.elch.chem.msu.ru/rus/chteniya/f33_volfkovich.pdf). -October 23, 2017
- 9 INFINITI VC-Turbo: The world's first production-ready variable compression ratio engine. URL: <http://infinitinews.com/en>

11 SunWin. -Режим доступа: <a href="http://www.sunwinbus.com/index_eng.aspx">http://www.sunwinbus.com/index_eng.aspx</a> . -23.10.2017	US/infiniti/usa/releases/infiniti-vc-t-the-world-s-first-production-ready-variable-compression-ratio-engine. -October 23, 2017
12 Tesla. -Режим доступа: <a href="https://www.tesla.com/">https://www.tesla.com/</a> . -23.10.2017	10 Serenergy. URL: <a href="http://serenergy.com/">http://serenergy.com/</a> . -October 23, 2017
13 The new GLC F-CELL. -Режим доступа: <a href="https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/vehicles/passenger-cars/glc/the-new-glc-f-cell/">https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/vehicles/passenger-cars/glc/the-new-glc-f-cell/</a> . -23.10.2017	11 SunWin. URL: <a href="http://www.sunwinbus.com/index_eng.aspx">http://www.sunwinbus.com/index_eng.aspx</a> . -October 23, 2017
14 Toyota. -Режим доступа: <a href="https://www.toyota.ru/index.json">https://www.toyota.ru/index.json</a> . -23.10.2017	12 Tesla. URL: <a href="https://www.tesla.com/">https://www.tesla.com/</a> . -October 23, 2017
15 Yutong delivered 26,856 new energy buses in 2016. -Режим доступа: <a href="http://en.yutong.com/pressmedia/marketexpress/2017/2017ARJmXYCCyi.html">http://en.yutong.com/pressmedia/marketexpress/2017/2017ARJmXYCCyi.html</a> . -23.10.2017	13 The new GLC F-CELL. URL: <a href="https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/vehicles/passenger-cars/glc/the-new-glc-f-cell/">https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/vehicles/passenger-cars/glc/the-new-glc-f-cell/</a> . -October 23, 2017
	14 Toyota. URL: <a href="https://www.toyota.ru/index.json">https://www.toyota.ru/index.json</a> . -October 23, 2017
	15 Yutong delivered 26,856 new energy buses in 2016. URL: <a href="http://en.yutong.com/pressmedia/marketexpress/2017/2017ARJmXYCCyi.html">http://en.yutong.com/pressmedia/marketexpress/2017/2017ARJmXYCCyi.html</a> . -October 23, 2017

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** автономный электротранспорт, электрический автобус, аккумулятор, топливный элемент, суперконденсатор, комбинированная энергоустановка

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Куликов Кирилл Игоревич, аспирант НГТУ  
Щуров Николай Иванович, докт. техн. наук, профессор НГТУ

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ

## ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

**Ф.В. Трухин, Б.В. Малозёмов**

### TECHNICAL DIAGNOSIS OF ELECTRIC TRANSPORT

Novosibirsk State Technical University (NSTU) 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia

Fedor V. Trukhin (Master's Degree of NSTU)

Boris V. Malozemov (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of NSTU)

---

**ABSTRACT:** The article defines patterns of changes in the diagnostic features of malfunctions, control line, power and auxiliary circuits of sections of electric trains in various operation modes of electrical circuits.

**Keywords:** evaluation function of technical condition, evaluation of technical condition, maintenance

---

Установлены закономерности изменения диагностических признаков неисправностей, цепей управления, силовых и вспомогательных цепей секций электропоездов в различных режимах функционирования электрических цепей.

Во время эксплуатации электрического транспорта возникает необходимость создания диагностической системы для прогнозирования дальнейших неисправностей. Это необходимо для повышения надежности и увеличения срока службы подвижного состава. Определению неисправностей в электрических машинах посвящено значительное количество публикаций в периодической печати, имеются научные монографии и патенты.

Решение всех этих задач возможно только в том случае, когда диагностирование проводится на стадии производства, эксплуатации и ремонта объекта. Одним из существенных недостатков используемых устройств спектрального анализа является ограниченность области их практического применения. Они используются в основном для определения количественного химического состава отдельных компонентов металлов и их сплавов. При этом анализы проводятся по градуировочным графикам, построенным для каждого элемента известных марок материалов по комплектам государственных стандартных образцов (ГСО). Это обуславливает трудоемкость процессов производственного контроля, приводит к снижению его производительности и экономической эффективности использования. Кроме этого, данные способы прямого преобразования измеряемого входного параметра в процентное содержание элементов недостаточно полно отражают параметры достоверности контроля при оценке точности получаемых результатов. Таким образом, весь процесс анализа сводится к приближенной оценке результатов контроля.

Техническая диагностика изучает методы, определяющие действительное состояние технических объектов, в отличие от теории надежности которая занимается изучением и использованием для расчетов средневероятных статистических показателей, характеризующих технические объекты.

Основные направления развития спектральных методов можно представить в следующем виде:

– совершенствование существующих способов получения обработки измерительной

информации, поступающей на вход измерительно-вычислительных комплексов с целью повышения уровня полезного сигнала, несущего информацию об исследуемых параметрах объекта в виде количественного содержания компонентов, структурных особенностях материала и его физико-механических свойствах;

- повышение эффективности обработки сигнала на выходе измерительного тракта за счет внедрения средств вычислительной техники;

- повышение достоверности получаемых результатов на основе моделирования процессов преобразования интенсивности спектрального излучения в контролируемый параметр;

- разработка высокопроизводительных автоматизированных измерительно-вычислительных систем, как части технологического процесса, на основе использования современных персональных компьютеров;

- разработка принципиально новых методик, алгоритмов и программного обеспечения, способствующих увеличению экспрессности и области практического применения атомно-эмиссионных методов анализа.

В простейшем случае данные диагностирования или их расшифровка представляют собой результаты сравнения значений сигналов в контрольных точках с заданными эталонными значениями этих сигналов.

Информация от средств технического диагностирования (СТД), измеряющих и преобразующих параметры по заранее разработанному алгоритму диагностирования (АД), поступает к оператору (О) для принятия решения (рисунок 1).

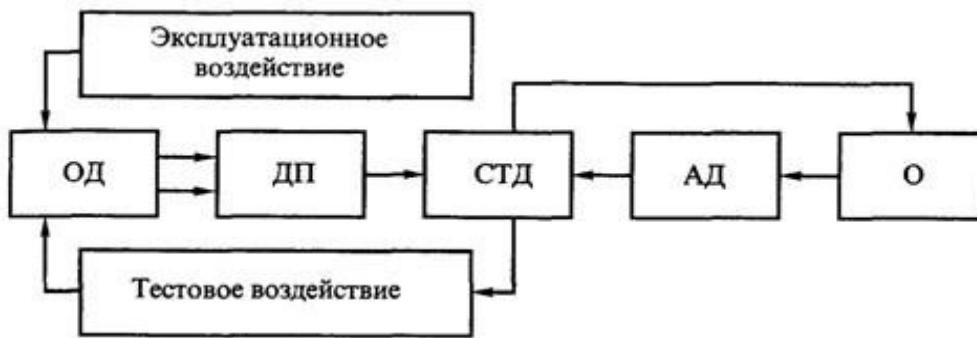


Рисунок 1 – Структурная схема системы технического диагностирования вагонов и локомотивов

Все это существенно сказывается на средствах диагностирования и на выборе контрольно-проверочной аппаратуры для достижения большой точности, увеличения объема обработки данных; повышения удобства представления результатов диагностирования; расширения функциональных возможностей приборов.

Универсальные СТД предназначены для измерения параметров (электрического тока, напряжения, напряженности и индукции магнитного поля, спектрального анализа вибрации и шума, средства дефектации и т.д.) технического состояния ПС различного конструктивного исполнения. При тестовом методе сигналы образуются как отражение внешнего воздействия диагностического средства.

Установку проверяют анализом проб контрольных и свежих масел. Концентрацию элементов определяют по средним величинам полученных отсчетов (измерений) с помощью тарировочных графиков.

Вычисленное значение диагностического коэффициента должно сравниваться с порогом  $C_j$  для каждого диагностируемого узла (или детали) машины или дизеля.

Среднюю концентрацию на момент прогнозирования вычисляют по формуле

$$K_{cp} = \frac{\sum_{r=1}^N K_r}{N},$$

где  $K_r$  – концентрация элемента в масле при  $r$ -ом отборе пробы;

$N$  – число отборов пробы от последнего ремонта тепловоза или вагона с переборкой дизеля.

Установлены закономерности изменения диагностических признаков неисправностей, цепей управления, силовых и вспомогательных цепей секций электропоездов в различных

режимах функционирования электрических цепей. Поэтому номенклатура свойств изделия, включаемая в техническую документацию, должна содержать диагностические параметры, достаточные для проведения тех видов диагностирования, которые требуются в условиях эксплуатации для проверки исправного и работоспособного состояния объекта, его правильного функционирования и поиска неисправностей с заданной глубиной [1].

Системы технического диагностирования предназначаются для решения следующих задач: проверки исправности; проверки работоспособности; проверки правильного функционирования; поиска дефектов.

По степени автоматизации системы диагностирования можно разделить на автоматические, в которых обработка и получение информации осуществляется без участия человека по заранее разработанной программе, автоматизированные, в которых получение и обработка информации осуществляется с применением средств автоматизации и участием человека, ручные, в которых получение и обработка информации осуществляются человеком - оператором.

Элементарная проверка осуществляется функциональным или тестовым воздействием на объект и полученными диагностическими параметрами, образующими ответ на соответствующее воздействие.

Математическую модель объекта диагностирования можно представить в аналитической, графической, векторной или табличной формах.

Функция оценки технического состояния (ФОТС) – не возрастающая функция допустимых значений структурных параметров технического изделия или его отдельного узла, взаимно однозначно отображающая изменения технического состояния в процессе эксплуатации изделия на множество действительных чисел. В общем случае, назначением функции для получения автоматических оценок технического состояния, прежде всего, является оценка состояния технического изделия по альтернативным гипотезам «исправное»-«неисправное». При этом в последнем случае требуется не только в явном виде установить один из возможных классов технического состояния и соответствующий ему перечень и глубина развития выявленных неисправностей, но и оценить степень риска дальнейшей эксплуатации технического изделия (рисунок 2) [2]. В свою очередь, степень риска является показателем текущей надежности технического изделия, в отличие от показателя конструктивной надежности, который закладывается на этапе конструкторской разработки изделия. В этом смысле оценка технического состояния объекта техники является, в том числе, оценкой его (технического изделия) текущей надежности. Теперь обратим внимание на следующее общепринятое определение. Техническое обслуживание (ТО) – этап эксплуатации, включающий в себя организацию и все технические мероприятия, направленные на поддержание надежности и готовности используемого оборудования.

Готовность – вероятность изделия быть работоспособным в произвольный момент времени между этапами планового технического обслуживания. Однако поддержка надежности и готовности оборудования принципиально возможна только в том случае, когда известен способ, с помощью которого в любой момент межремонтного периода можно получить оценки текущей надежности и готовности этого оборудования. Но, как показано ранее, оценкой текущей надежности технического изделия является оценка текущего технического состояния. Отсюда следует, что приведенное выше определение понятия «техническое обслуживание» устарело и требует переопределения. С учетом всех изложенных выше соображений, новое определение может иметь следующий вид. Техническое обслуживание (ТО) – этап эксплуатации, включающий в себя получение оценок текущего и прогнозируемого технического состояния технического изделия, а также организацию и проведение на основе таких оценок всех технических мероприятий, направленных на поддержание его (технического изделия) надежности и готовности.

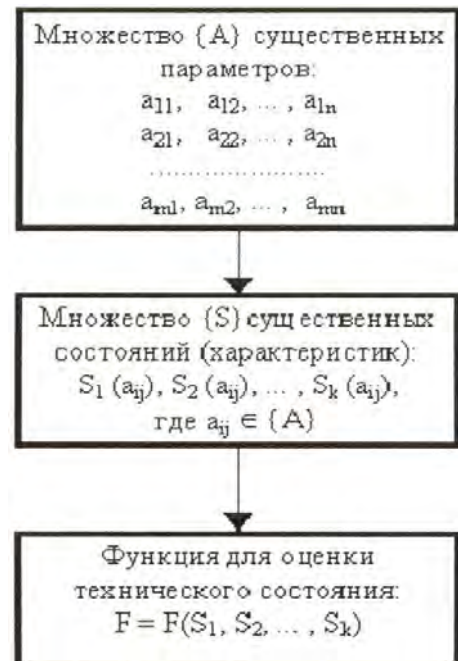


Рисунок 2 – Формализация понятия «техническое состояние»



**Закключение.** Таким образом, оценка технического состояния изделия – это некоторое значение функции заданных свойств изделия. При этом получение оценок свойств изделий, а также получение собственно оценки технического состояния технического изделия должно быть первым и определяющим этапом всего комплекса работ по техническому обслуживанию систем электрического транспорта.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Мойкин, Д.А. Неразрушающий контроль в вагонном хозяйстве: учеб. пособ. / Д.А. Мойкин. –СПб.: Изд-во Петер. Гос. Унив. путей сообщ., 2001. -87 с.  
2 Криворудченко, В.Ф. Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов электрического транспорта: учеб. пособ./ В.Ф. Криворудченко, Р.А. Ахмеджанов. -М.: Маршрут, 2005. -436 с.

**REFERENCES**

- 1 Moykin D.A., Non-destructive testing in rolling stock [Nerazrushayushchiy kontrol' v vagonnom khozyaystve]. St.Petersburg: Petersburg St. Transp. Univ. Publ. 2001. 87 p.  
2 Krivorudchenko V.F., Akhmedzhanov R.A., Modern methods of technical diagnostics and non-destructive testing of parts and assemblies of electric transport [Sovremennyye metody tekhnicheskoy diagnostiki i nerazrushayushchego kontrolya detaley i uzlov elektricheskogo transporta]. Moscow: Marshrut Publ. 2005. 436 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** функция оценки технического состояния, оценка технического состояния, техническое обслуживание  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Трухин Федор Витальевич, магистрант НГТУ  
Малозёмов Борис Витальевич, канд. техн. наук, доцент НГТУ  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, НГТУ

---

## **НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА**

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

**Р.С. Литвиненко, А.Р. Литвиненко**

**RELIABILITY OF TRACTION POWER NETWORK OF INNER CITY ELECTRIC TRANSPORT**  
Kazan State Power Engineering University (KSPEU) 51, Krasnoselskaya St., Kazan, 420066, Russia  
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI) 67, Bolshaya Morskaya St., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
**Ruslan S. Litvinenko** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of KSPEU)  
**Anastasiya R. Litvinenko** (Student of SUAI)

---

**ABSTRACT:** Power supply reliability is very significant criteria of transportation process quality carried out by urban electric transport. The article considers main affecting factors of reliability of the traction power network elements.

**Keywords:** reliability, electric transport, substation, power network

---

Рассмотрены основные факторы, характеризующие надежность элементов системы тягового электроснабжения, и оказывающие влияние на качество перевозочного процесса городским электрическим транспортом.

Городской электрический транспорт (ГЭТ) предназначен для осуществления городских перевозок пассажиров и может включать такие виды городского транспорта с электрическим приводом колес как трамвай, троллейбус, метрополитен, электробусы, монорельсовый электрический транспорт и т.д.

Основными преимуществами этого вида транспорта являются высокая производительность и экологичность. Современный ГЭТ включают в себя две или несколько транспортных систем, подразделяющихся на основные и вспомогательные. К основным относятся скоростные транспортные системы, характеризующиеся высокой провозной способностью (метрополитен, скоростной трамвай). Вспомогательные транспортные системы предназначены для обслуживания основных и проектируются с учетом обеспечения минимальной зоны пешего хождения пассажиров (троллейбус) [1].

Возможность полного и эффективного использования ГЭТ в целях осуществления процесса пассажирских перевозок в значительной степени зависит от технического состояния её элементов и во много определяется надежностью их функционирования. В соответствии с [2] под надежностью понимается – свойство готовности и влияющие на него свойства безотказности и ремонтпригодности, и поддержка технического обслуживания. Ранее определение этого термина [3] было следующим: надежность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способ-

ность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств. От надежности техники в значительной степени зависит эффективность его применения – способность удовлетворять требованиям к услуге с заданными количественными характеристиками [2], которая зависит от сочетания возможности и готовности к применению.

Составной частью ГЭТ, оказывающей непосредственное влияние на его надежность и качество функционирования, является система электроснабжения, представляющая единое целое с электроподвижным составом. Задачей системы электроснабжения ГЭТ является прием, преобразование и распределение электрической энергии, потребляемой тяговыми единицами, поэтому она должна обладать высокой надежностью.

Система тягового электроснабжения ГЭТ включает в свой состав две подсистемы – тяговые подстанции и контактную сеть, включающие большое количество оборудования, аппаратов, деталей, проводов, кабелей и изделий, от нормального функционирования которых зависит работоспособность ГЭТ в целом.

*Надежность тяговых подстанций (ТП)* – свойство подстанции бесперебойно преобразовывать и распределять электрическую энергию по фидерам контактной сети при соответствующих уровнях напряжения и нагрузках, определяемых мощностью установленного оборудования и техническими условиями, в течение заданного промежутка времени. ТП представляют собой сложные, восстанавливаемые и эксплуатируемые системы, имеющие резервируемое оборудование, и выполняющие сложную многоцелевую задачу, так как большинство оборудования реализует много различных функций [4]. Необходимо отметить важный момент – оборудование ТП ГЭТ однотипно либо незначительно отличается от соответствующего оборудования ТП железных дорог и распределительных подстанций. Поэтому, в связи с ограниченностью статистических данных при анализе надежности подстанций ГЭТ можно использовать отдельные показатели надежности, полученные на железнодорожном транспорте и в энергетике.

*Надежность контактной сети* выражает ее способность работать безотказно и сохранять значения своих механических и эксплуатационных параметров в пределах, необходимых для обеспечения непрерывного токопитания электроподвижного состава при всех эксплуатационных условиях электрифицированных участков. Поскольку определение количественных показателей надежности контактной сети производится в реальных эксплуатационных условиях, с учетом воздействия всех внутренних нагрузок и внешних факторов, связанных с климатическими и эксплуатационными особенностями отдельных электрифицированных участков и условиями технического обслуживания контактной сети, то, говоря об ее надежности, следует подразумевать эксплуатационную надежность контактной сети. Контактная сеть рассматривается как восстанавливаемая, обслуживаемая, сложная система со смешанным соединением элементов, поскольку она продолжает функционировать после устранения ремонтной бригадой возникшего отказа, обслуживается наличным эксплуатационным персоналом и в зависимости от отказавшего элемента может находиться в двух или более рабочих состояниях, т.е. возможны отказы, при которых контактная сеть в целом продолжает выполнять свои функции, но с пониженной эффективностью [5].

По критериям надежности элементы системы тягового электроснабжения ГЭТ можно разделить на два вида:

- нерезервированные устройства (контактная сеть, сглаживающие устройства ТП, системы телеуправления и др.);
- резервированные устройства (питающие линии контактной сети, силовое оборудование ТП и др.).

К неисправностям, ведущим к полному отказу тягового электроснабжения, относятся: для ТП – события, вызывающие прекращение питания контактной сети или других подключенных к ней потребителей, а также вынужденный переход на резервные устройства; для контактной сети – невозможность пропуска электроподвижного состава или необходимость движения на выбеге с опущенным токоприемником.

Неисправности контактной сети, ведущие к отказам, связаны с недостатками, допущенными при ее проектировании и монтаже, дефектами конструкций, узлов и деталей, низким качеством материалов, погодными условиями, неудовлетворительным содержанием, не-

правильными действиями персонала, вандализмом, с неисправностями токоприемников и короткими замыканиями на электроподвижном составе. Практически половина повреждений вызвана неисправностями тяговых единиц ГЭТ или ошибочными действиями машинистов (водителей). Основными повреждениями контактной сети являются: обрывы контактных проводов, повреждения изоляторов, консолей фиксаторов и опор. Наиболее характерные повреждения контактной сети связаны с поджатием (подъемом) проводов токоприемниками и ударами по стержню фиксаторов или захватами отходящих ветвей контактной подвески. Частыми повреждениями являются опрокидывания (раскрытие) фиксаторов. Захваты проводов ползком токоприемника происходят в связи с перемещением контактных проводов за рабочую часть ползца токоприемника. Особое место занимают пережоги контактного провода над токоприемником вследствие плохого контакта, неудовлетворительного состояния поверхностей касания (загрязнения) и слабого нажатия токоприемника, превышения времени и значения тока, износа контактного провода и его слабого натяжения. В связи с тем, что опоры контактной сети, как правило, железобетонные – одной из наиболее актуальных проблем надежности контактной сети является повреждение бетона и стали опор и фундаментов от химической и электрической коррозии. Особенно опасна коррозия фундаментных частей опор, так как отсутствуют методы контроля их состояния. Число повреждений контактной сети можно определить на ее развернутую длину (в основном на 100 км длины), на число проходов токоприемников, на анкерный участок или на удельное электропотребление, число отключений фидеров контактной сети.

В системе тягового электроснабжения контактная сеть является наиболее важным элементом, так как не имеет резерва. Одним из способов повышения надежности работы контактной сети является секционирование, что позволяет при неисправностях (отказах) отключать не всю контактную сеть, а только поврежденный участок. Отказ такого участка контактной сети приводит к полной остановке тягового подвижного состава в зоне действия конкретной секции. Поэтому секционирование контактной сети необходимо для обеспечения ее надежной работы, оперативного технического обслуживания и ремонта контактной сети с отключением напряжения. Схема секционирования контактной сети предусматривает такое взаимное расположение секций, при котором отключение одной из них в наименьшей степени влияет на организацию движения поездов.

Отказы тяговых подстанций связаны с выходом из строя высоковольтных выключателей, силовых трансформаторов, полупроводниковых выпрямителей, релейной защиты и устройств управления вследствие перенапряжений, токов коротких замыканий и неправильных действий эксплуатационного персонала. Число неисправностей (отказов) тяговых подстанций определяется числом повреждений на одну подстанцию, на количество преобразованной электроэнергии и т.д. Надежность системы тягового электроснабжения в целом в значительной степени зависит от вида тяговой сети и соответственно режимов работы ТП. В случае параллельной работы ТП на общие участки контактной сети повышается надежность электроснабжения по сравнению с отдельным режимом работы, и уменьшаются потери электроэнергии в тяговой сети. Однако при таком режиме работы практически не осуществляется защита кабелей 600 В от подпитки места повреждения кабеля и замыкания на землю со стороны параллельно работающей подстанции. Также, в сети трамвая необходимо равенство напряжений на сборных шинах постоянного тока этих подстанций [6]. При работе ТП в системе питания троллейбуса с изолированными от земли обоими полюсами сети постоянного тока значительно уменьшается вероятность отказов и размер повреждений кабелей 600 В, в связи с тем, что ток замыкания на землю небольшой и при пробое изоляции кабеля повреждение не развивается, а система остается работоспособной до момента устранения повреждения. В соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок система 600 В с изолированными от земли обоими полюсами должна иметь пробивные предохранители, установленные в нейтрали или фазе на стороне низшего напряжения трансформатора, и схему автоматического контроля изоляции по отношению к земле и целостности пробивных предохранителей.

В случае параллельной работы подстанций отказ одной ТП в отличие от отказа контактной сети не приводит к остановке тягового подвижного состава на данном участке (секции), а отказ двух соседних ТП – событие маловероятное. Отказ одной из ТП приводит к изменению напряжения на токоприемнике тяговых единиц, движущегося по данному секционному участку тяговой сети. В [6] представлены следующие предельно допустимые параметры, полученные при расчетах тяговой сети ГЭТ: среднее падение напряжения в тяговой сети 90 В в

вынужденных и аварийных режимах; и наибольшее падение напряжения в тяговой сети до конца участка питания 170 В. Учитывая этот факт можно оценить влияние отклонений напряжения тяговой сети на работу электроподвижного состава.

При одной и той же нагрузке  $I$ , но при различных значениях подведенного к тяговому электродвигателю напряжения ( $U_1$  и  $U_2$ ) отношение установившихся скоростей движения будет равно отношению электродвижущих сил обмотки якоря [7]

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{U_1 - IR}{U_2 - IR},$$

где  $V_1, V_2$  – установившиеся скорости движения, соответствующие напряжениям  $U_1$  и  $U_2$ ;

$I$  – ток двигателя;

$R$  – сопротивление обмоток электродвигателя.

Потеря напряжения в электродвигателе из-за малого сопротивления его обмоток незначительна по сравнению с напряжением на нем (она меньше подаваемого на двигатель напряжения в 15-18 раз), поэтому можно записать

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{U_1}{U_2}.$$

Таким образом, изменение установившейся скорости движения электрического транспорта при отклонении напряжения на токоприемнике примерно прямо пропорционально изменению напряжения, что в свою очередь приведет к изменению времени движения по участку и повлияет на его пропускную способность. Поэтому изменение уровня напряжения тяговой сети в результате неисправности ТП, либо других факторов приводит к снижению технико-эксплуатационных показателей маршрутов ГЭТ.

В заключение необходимо отметить, что уровень надежности системы электроснабжения, как и надежность электроподвижного состава, оказывают значительное влияние на пропускную и провозную способности ГЭТ, определяющие его место среди других видов пассажирского транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1 Аухадеев, А.Э. Саморазвитие транспортной системы современного города: поиск инновационной модели интеллектуального управления / А.Э. Аухадеев. -М.: ВИНТИ, 2014. -220 с.  
 2 ГОСТ Р 27.002-2009. Надежность в технике. Термины и определения. -Введ. впервые. -М.: Стандартиформ, 2011. -27 с.  
 3 ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения. -Введ. 01.07.90. -М.: Изд-во стандартов, 1990. -37 с.  
 4 Волков, Н.Н. Эксплуатация и ремонт тяговых подстанций электрифицированных железных дорог / Л.С. Панфиль, Н.Н. Волков, С.М. Кузнецов, В.П. Маценко. -М.: Транспорт, 1975. -311 с.  
 5 Рекомендации по основным положениям исследования надежности устройств контактной сети: Р639 / Комиссия ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу. -Варшава: Организация Сотрудничества Железных Дорог, 2005. -16 с.  
 6 Кузнецов, С.М. Эксплуатация и ремонт тяговых подстанций городского электрического транспорта / С.М. Кузнецов, Л.Н. Ефретов. -М.: Транспорт, 1981. -311 с.  
 7 Тер-Оганов, Э.В. Электроснабжение железных дорог: учебник для студентов / Э.В. Тер-Оганов, А.А. Пышкин. -Екатеринбург: Изд-во Ур. гос. унив. путей сообщ., 2014. -432 с.

1 Aukhadееv A.E., Self-development of the transport system of the modern city: search for an innovative model of intellectual management [Samorazvitie transportnoy sistemy sovremennogo goroda: poisk innovatsionnoy modeli intellektual'nogo upravleniya]. Moscow: All-Russian Inst. of Scientific and Techn. Inform. Publ. 2014. 220 p.  
 2 GOST R 27.002-2009. Reliability in engineering. Terms and definitions [Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniya]. Moscow: Standartinform Publ., 2011. 27 p.  
 3 GOST 27.002-89. Reliability in engineering. Terms and definitions [Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniya]. Moscow: Izdatel'stvo standartov Publ. 1990. 37 p.  
 4 Panfil' L.S., Volkov N.N., Kuznetsov S.M., Matsenko V.P., Operation and repair of traction substations of electrified railways [Ekspluatatsiya i remont tyagovykh podstantsiy elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog]. Moscow: Transport Publ. 1975. 312 p.  
 5 Recommendations on the main provisions of the study of the traction power network reliability. OSJD Commission for infrastructure and rolling stock. Warsaw: Organization for Cooperation on Railways. 2005. 16 p.  
 6 Kuznetsov S.M., Efretov L.N., Operation and repair of traction substations of city electric transport [Ekspluatatsiya i remont tyagovykh podstantsiy gorodskogo elektricheskogo transporta]. Moscow: Transport Publ. 1981. 311 p.  
 7 Ter-Oganov E.V., Pyshkin A.A., Traction power supply [Elektrosnabzhenie zheleznykh dorog]. Ekaterinburg: Ural st. univ. of Railway Transp. Publ. 2014. 432 p.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

*надежность, электрический транспорт, подстанция, контактная сеть*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

*Литвиненко Руслан Сергеевич, канд. техн. наук, доцент КГЭУ  
 Литвиненко Анастасия Руслановна, студент ФГАОУ ВО «ГУАП»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:**

*420066, г.Казань, ул.Красносельская, 51, КГЭУ  
 190000, г.Санкт-Петербург, ул.Большая Морская, 67, лит.А, ФГАОУ ВО «ГУАП»*

## ОПЫТОВЫЙ БАСЕЙН ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ПОДВЕСНЫХ ЛОДОЧНЫХ МОТОРОВ МАЛОМЕРНЫХ СУДОВ

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»

М.Н. Покусаев, А.А. Хмельницкая

### TOWING TANK FOR TEST MEASUREMENTS OF OUTBOARD ENGINES' EMISSIONS

Astrakhan State Technical University (ASTU) 16, Tatishcheva St., Astrakhan, 414056, Russia

Mikhail N. Pokusaev (Holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Prof. of ASTU)

Anastasiya A. Khmel'nitskaya (Graduate student of ASTU)

**ABSTRACT:** The article presents the design of an experimental towing tank for measuring harmful emissions of exhaust gases of outboard engines. Initial test results for the outboard motor «Veterok-8M» brand are given.

**Keywords:** outboard engine, exhaust gases, small towing tank

Представлена конструкция опытового бассейна для проведения испытаний по измерению вредных выбросов отработавших газов подвесных лодочных моторов маломерных судов; приведены данные первоначальных испытаний для подвесного мотора марки «Ветерок-8М».

Российский речной флот маломерных судов по состоянию на 2016 год составляет около 1 500 000 единиц. Согласно приказа МЧС России №340 от 24.06.2016 г. «Об утверждении Правил государственной регистрации маломерных судов, поднадзорных Государственной инспекции по маломерным судам Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» (вступил в силу с 1 января 2017 г.) маломерным является судно, длина которого не превышает 20 метров, а количество пассажиров составляет не более 12 человек [1].

Законодательно-нормативной базой в области контроля за вредными выбросами отработавших газов маломерных судов, помимо соответствующих Постановлений Правительства РФ, являются несколько отечественных и международных документов. Допустимые значения вредных выбросов определяются по ГОСТ 28556-16 «Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности» [2]. Согласно этому документу, предельно допустимый выброс CO допускается устанавливать в процентах по объемной концентрации CO в отработавших газах, при этом, объемная концентрация CO в отработавших газах на всех режимах работы двигателя не должна превышать 4,8%. Превышение этой нормы влечет за собой административное наказание судовладельца согласно Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях. Еще одним регламентирующим документом по контролю за вредными выбросами является технический регламент таможенного союза ТР ТС 026/2012 «О безопасности маломерных судов» [3], при этом уровень выбросов в отработавших газах двигателей маломерных судов также не должен превышать более 4,8% CO. Проведение испытаний по контролю вредных выбросов следует производить согласно нормативным документам на холостых режимах работы подвесных моторов.

Целью нашего исследования являлась разработка малого опытового бассейна (МОБ) для проведения испытаний по измерению вредных выбросов в отработавших газах подвесных лодочных моторов с двухтактными и четырехтактными поршневыми двигателями внутреннего сгорания мощностью до 40 л.с. для маломерных судов. Фактически, экологические требования, действующие в России для двигателей маломерных судов, регламентируют загрязнение ими только атмосферы, при том, что, специалистами отмечается существенное влияние отработавших газов и на гидросферу. В научной литературе описывается широкий спектр решений по снижению вредного воздействия судового дизеля на гидросферу, но степень их эффективности неоднозначна [4]. Установить количественные параметры такого влияния чрезвычайно затруднительно в связи со сложностью устройства выпускной системы подвесных моторов. В настоящее время разработка опытовых бассейнов для проведения подобных испытаний очень актуальна и необходимость в таких устройствах и проведения испытаний на них очень высока в связи с дальнейшим ужесточением требований нормативно-законодательной документации в области экологии и большим количеством двигателей маломерных судов в России. Например, для четырехтактных двигателей с искровым зажи-

ганием, выпускаемых с 01.01.2017 г. введены ограничения по вредным выбросам сразу по трем показателям: по оксиду углерода (CO), углеводороду (CH) и оксиду азота (NO<sub>x</sub>) [3]. Эти нормы соответствуют требованиям директивы 94/25 ЕС Европейского парламента и совета от 16 июня 1994 года о сближении законодательных актов, нормативных документов и административных положений государств членов по вопросам прогулочных судов [5].

МОБ разработан в рамках плана научно-исследовательских работ кафедры «Эксплуатация водного транспорта» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (АГТУ), испытательного центра «Marine Technology Service» АГТУ.

Разработанный МОБ (рисунок 1) представляет собой бак – емкость объемом 750 л, со встроенным смотровым стеклом в нижней части для наблюдения за барботажем; транцевой доской для крепления подвешенного мотора; герметичной крышкой с резиновым уплотнением и тремя встроенными светодиодными светильниками с питанием от аккумуляторных батарей; теплообменным аппаратом (подогревателем-охладителем с мощностью 1330 кВт) в нижней части бака для регулирования температуры воды; отборами воды для анализа; отборами газа для анализа; вентиляцией для удаления отработавших газов.

Маркировка всех составных элементов МОБ выполнена по стандарту ГОСТ Р ИСО 11192-2011 «Графические символы суда малые» [6].

Приведем подробные параметры газоанализатора, который используется для измерения вредных выбросов. Газоанализатор Testo 350 MARITIME имеет поверку ФБУ «РОСТЕСТ-МОСКВА», является портативным анализатором выбросов, разработанным для измерения концентраций дымовых газов в соответствии с требованиями международной конвенции «MARPOL» Annex VI. Прибор имеет сертификат Germanischer Lloyd (GL), номер сертификата 59488-08 NH на соответствие требованиям «MARPOL» 73/78 Annex VI, NO<sub>x</sub> Technical Code и MEPC.103. Отбор пробы осуществляется специальным газоотборным зондом, монтаж которого выполняется при помощи фланца. Одобренные к применению электрохимические сенсоры газа (ECS) измеряют концентрацию дымовых газов O<sub>2</sub>, CO и NO<sub>x</sub> (параллельное измерение NO+NO<sub>2</sub>), обеспечивая высокую точность измерений. Значение CO<sub>2</sub> регистрируется посредством сертифицированного инфракрасного сенсора. Для измерений в морских условиях, газоанализатор размещен в прочном защитном кейсе.

Принципиальная схема разработанного МОБ по измерению вредных выбросов подвесных лодочных моторов маломерных судов представлена на рисунке 2.

Объектом для проведения оценочных испытаний в МОБ был выбран распространенный в Астраханской области и России подвесной лодочный мотор марки «Ветерок-8М». Согласно данным Государственной инспекции по маломерным судам МЧС России по Астраханской области подвесные моторы данной марки очень распространены [7].



Рисунок 1 – Общий вид малого опытового бассейна: 1-газоанализатор Testo 350 MARITIME; 2-прозрачное стекло для наблюдения за барботажем; 3-термометр для измерения температуры воды; 4-устройство для отбора отработавших газов с краном для дренажа воды; 5-защитный кожух для отвода отработавших газов в вентиляцию; 6-вытяжная вентиляция с подсветкой и тремя режимами работы вентилятора; 7-транцевая доска толщиной 40 мм для крепления подвешенного мотора; 8-датчик частоты вращения двигателя; 9-бак объемом 750 л (высота бака 1100 мм)



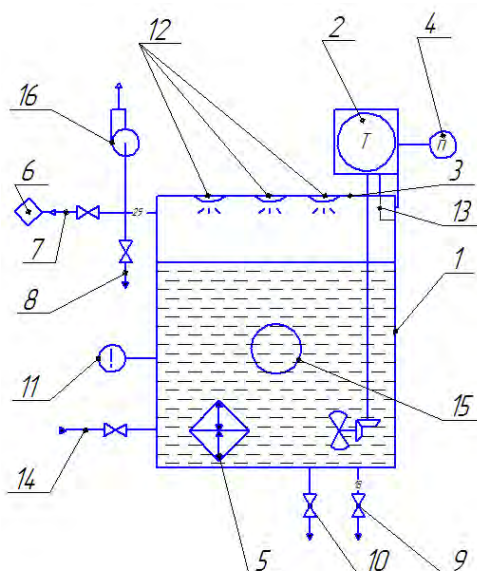


Рисунок 2 – Принципиальная схема малого опытного бассейна: 1-бак; 2-подвесной мотор; 3-крышка; 4-датчик частоты вращения мотора; 5-подогреватель/охладитель; 6-отбор выхлопных газов; 7-трубопровод для отвода газов; 8-дренаж; 9-отбор воды; 10-отвод воды; 11-температура воды; 12-светильники; 13-транец; 14-подвод воды; 15-окно для наблюдения за барботажем; 16-вентиляция для удаления отработавших газов

Условия проведения испытаний:

- Время года, месяц, время суток..... лето, август 2017 г., с 10-00 до 14-00 дня;
- Температура окружающего воздуха..... +30 °С;
- Температура воды в баке на всем протяжении испытаний ..... +27 °С;
- Объем воды в баке для испытаний..... 500 л;
- Марка подвесного мотора ..... «Ветерок-8М»;
- Номинальная мощность мотора..... 8 л.с.;
- Расход номинальный топлива подвесного мотора..... 3,2 л/час;
- Вид топлива ..... смесь бензина АИ-92 с моторным маслом М8 в пропорции 40 г масла на 1 л бензина;
- Подвод воздуха для мотора ..... атмосферный, без наддува.

Испытания проводились в течение 10 минут на каждом режиме работы мотора, результаты измерений представлены в таблице. Применяемые способы отбора проб отработавших газов не изменяли характеристики выпускной системы, чтобы это не могло повлиять на результаты измерений. Отвод воды после испытаний в канализацию не производился для избежания загрязнения сточных вод продуктами сгорания и топливо-масляной смеси подвесного мотора. В настоящее время авторы разрабатывают способ фильтрации или применения адсорбента для очистки воды после испытаний в МОБ.

Таблица – Результаты измерения вредных выбросов в отработавших газах подвесного мотора «Ветерок-8М» в МОБ

Частота вращения мотора, об/мин	CO, ppm	NO, ppm	NO <sub>2</sub> , ppm	NO <sub>x</sub> , ppm	SO <sub>2</sub> , ppm	H <sub>2</sub> , ppm
930	406	1	0,2	1	55	482
1500	462	0	0,2	0	41	45

Дополнительно был произведен отбор воды из МОБ для оценки ее загрязненности. Оценочное исследование загрязнение воды в пилотном испытании проводилось «визуальным» способом. В дальнейшем авторы планируют разработку отдельной методики по оценке загрязнения воды подвесными моторами с количественными показателями.

В результате разработки МОБ и проведенных оценочных испытаний было получено:

- разработанный МОБ может быть использован для проведения испытаний по измерению уровня вредных выбросов в отработавших газах подвесных моторов;
- конструкция МОБ выдержала полноценные испытания подвесного мотора «Ветерок-8М» мощностью 8 л.с., что позволяет перейти к проведению испытаний более мощных двигателей до 40 л.с.;



- для конкретного подвесного мотора «Ветерок-8М» не выявлено превышение допустимых значений по вредным выбросам в отработавших газах;
- «визуальный» анализ пробы воды после испытаний показал существенное загрязнение ее поверхности и объема.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Приказ МЧС России №340 «Об утверждении Правил государственной регистрации маломерных судов, поднадзорных Государственной инспекции по маломерным судам Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» от 24 июня 2016 г. -29 с.

2 ГОСТ 28556-16. Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности. -М.: Стандартинформ. 2016. -11 с.

3 О безопасности маломерных судов: ТР ТС 026/2012. - Принят решением №33 совета Евразийской экон. комиссии 15.06.2012: введ. в действие с 01.02.2014. // СПС КонсультантПлюс

4 Климова, Е.В., Рекомендации по применению способов снижения вредного воздействия судовых выбросов на гидросферу / Е.В. Климова, А.Ф. Дорохов // -Вестн. Астр. гос. техн. унив.: сер. Мор. техника и технология. -2015. -№1. -С. 91-96.

5 О сближении законодательных актов, нормативных документов и административных положений государств членов по вопросам прогулочных судов: Директива 94/25 ЕС Европейского парламента и совета 16.06.1994: введ. в действие с 30.06.1994. // СПС КонсультантПлюс.

6 ГОСТ Р ИСО 11192-2011. Суда малые. Графические символы. -М.: Стандартинформ, 2012. -24 с.

7 Покусаев, М.Н. Испытания подвесных моторов маломерных судов по измерению вредных выбросов с отработавшими газами / М.Н. Покусаев, А.А. Хмельницкая // -Вестн. Волжс. гос. акад. водн. трансп. -2017. -№51. –С. 181-187.

REFERENCES

1 On approval of the Rules for the state registration of small vessels supervised by the State Inspectorate for Small vessels of the EMERCOM. Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia. No. 340. Russia. June 24, 2016.

2 GOST 28556-16. Outboard engines. Common safety requirements [Motory lodochnye podvesnye. Obshchie trebovaniya bezopasnosti]. Moscow: Standartinform Publ. 2016. 11 p.

3 Technical regulations of the Customs union TR CU 026/2012 On safety of small vessels. St. Petersburg. June 15, 2012.

4 Klimova E.V., Dorokhov A.F., Ways to reduce the harmful effect of ship emissions on the hydrosphere [Rekomendatsii po primeneniyu sposobov snizheniya vrednogo vozdeystviya sudovykh vybrosov na gidrosferu]. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2015. No. 1 pp. 91-96.

5 Directive 94/25/EC of the European Parliament and of the Council on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to recreational craft. 16 June, 1994.

6 GOST R ISO 11192-2011. Small craft. Graphical symbols [Suda malye. Graficheskie simvol]. Moscow: Standartinform Publ. 2012. 24 p.

7 Pokusaev M.N., Khmel'nitskaya A.A., Tests of outboard motors of small vessels with the aim of measuring harmful emissions in exhaust gases [Ispytaniya podvesnykh motorov malomernykh sudov po izmereniyu vrednykh vybrosov s otrabotavshimi gazami]. Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta. 2017. No. 51. pp. 181-187.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *подвесной лодочный мотор, выбросы отработавших газов, малый опытовый бассейн*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Покусаев Михаил Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «АГТУ» Хмельницкая Анастасия Александровна, аспирант ФГБОУ ВО «АГТУ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *414056, г.Астрахань, ул.Татищева, 16, ФГБОУ ВО «АГТУ»*

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФИЛИАЛОВ СИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

**М.А. Щербинина, В.В. Коновалов, А.А. Наприенко**

**PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF THE BRANCHES OF SIBERIAN STATE UNIVERSITY OF WATER TRANSPORT**  
Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia  
**Marina A. Shcherbinina** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)  
**Valeriy V. Konovalev** (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)  
**Anna A. Naprienko** (Senior Lecturer of SSUWT)

---

**ABSTRACT:** Authors proposed ways of establishing the public-private partnerships as a means of retrieval the network of university affiliated branches.

**Keywords:** *education, branch, public-private partnership*

---

Предложены некоторые варианты государственно-частного партнерства с целью восстановления сети филиалов университета

Филиалы Сибирского государственного университета водного транспорта создавались для тесной связи образования с организациями отрасли водного транспорта во второй половине прошлого столетия. В этот период для реализации масштабных проектов по разработке месторождений и добычи полезных ископаемых в Сибири, на Крайнем Севере требовалось создание мощной транспортной инфраструктуры. Водный транспорт в отличие от авиации и железной дороги имел неоспоримое преимущество, в виду наличия крупных рек протекающих на север в меридиональном направлении, поэтому по берегам Оби, Енисея и Лены началось масштабное строительство портов, судостроительных и судоремонтных заводов, проводилась работа по поддержанию гарантированных глубин судовых ходов, дноуглублению и берегоукреплению.

Для обеспечения всех этих объектов инженерно-техническим персоналом на Университет водного транспорта, была возложена важная задача по кадровому обеспечению.

В результате к 1995 году в составе учебного заведения существовало 12 филиалов и 25 представительств на территории Сибири, Якутии, Забайкальского и Хабаровского края. Контингент заочного отделения составлял более 15 000 обучающихся, ежегодный выпуск составлял до 2 500 инженеров.

Сегодня, когда происходит возрождение крупнейших геополитических проектов России по освоению Арктических территорий и возрождению Северного Морского Пути [1], роль филиалов Университета вновь становится определяющей.

По объективным демографическим и экономическим причинам, количество филиалов Университета уменьшилось, представительства были закрыты. Также, было утрачено большинство профессиональных училищ и средне-профессиональных учебных заведений у других отраслей народного хозяйства. Поэтому быстрое развитие образовательных услуг (увеличение количества направлений подготовки и специальностей) в существующих филиалах Университета, становится амбициозной задачей направленной на обеспечение рабочими и инженерно-техническими кадрами, оставшиеся отраслевые предприятия и организации смежных отраслей, у которых учебные заведения были полностью ликвидированы.

За прошедшие годы сильно изменились методы обучения, были неоднократно переработаны образовательные государственные стандарты, возросли требования к качеству образования, как со стороны работодателей, так и со стороны контролирующих органов. Университет стал многоуровневым учебным заведением, осуществляющим непрерывную подготовку от уровня средне-профессионального и дополнительного образования до высшего образования, повышения квалификации и переподготовки.

Перечень реализуемых программ напрямую зависит от материально-технической базы филиала. Обязательное наличие современных сертифицированных тренажеров и лабораторного оборудования, повышенные требования к инфраструктуре учебного заведения для обучения лиц с ограниченными возможностями требует большого количества долгосрочных капитальных вложений.

Оптимальным решением возникших задач может стать государственно-частное парт-

нерство [2, 3] между Университетом и реальным сектором экономики заинтересованном в расширении образовательных услуг и географии мест их предоставления. Например, отсутствие тренажерной подготовки в Хабаровском и Усть-Кутском филиале приносит значительные накладные расходы судовладельцам Верховья Лены, Ангаро-Байкальского региона и Амура, связанные с проездом и проживанием лиц плавсостава в Якутский филиал или базовый вуз, для обязательного повышения квалификации.

Параллельным направлением развития и поддержания транспортной инфраструктуры является развитие научного подхода, особое внимание необходимо уделять прикладным научным исследованиям. Создание на базе филиалов научно-исследовательских лабораторий позволит не только решать научно-практические задачи, но и даст возможность открытия на базе филиалов новых направлений подготовки.

Экспертный центр Безопасности и надежности сооружений при СГУВТ уже много лет занимается обследованием причальных сооружений Сибирского региона и районов Крайнего Севера, создание на базе Омского, Усть-Кутского и Якутского институтов водного транспорта совместно с отраслевыми организациями Иркутской, Омской областей и Республики Саха полноценных лабораторий Материаловедения, Геодезии и водных изысканий, Дноуглубления и добычи нерудных строительных материалов, Автоматизированного проектирования позволило бы многократно повысить качество проводимых исследований и дать обучающимся бесценный опыт решения реальных практических задач.

Для всех регионов Сибири и Дальнего Востока актуальны проблемы эксплуатации физически устаревшего флота, в настоящее время средний возраст большей части эксплуатируемых судов речного флота составляет более 25 лет. В связи с этим, создание и модернизация на базе филиалов СГУВТ в Красноярске, Омске, Усть-Куте, Хабаровске, Якутске лабораторий Судового электрооборудования и электронной аппаратуры, Судовых энергетических установок, Судовых электроприводов при совместной работе с владельцами судов позволит решить ряд практических задач, таких как продление срока службы судовых механизмов, разработка и актуализация методов оценки технического состояния судовых двигателей внутреннего сгорания, безопасной ресурсосберегающей эксплуатации судовых дизелей, внедрение альтернативных источников питания, разработка расходных материалов для дизелей с улучшенными эксплуатационными свойствами. Важным аспектом для эффективной и безотказной работы судового оборудования является непрерывный сбор и анализ диагностической информации, поэтому достижение поставленных задач, а также развитие научного потенциала филиалов возможно только при совместной работе научных сотрудников филиалов Университета и судовладельцев.

Создание современных лабораторий с новейшим оборудованием требует значительных капитальных вложений, но без этого не возможно развитие водного транспорта. Помочь в этом Университету могут отраслевые организации, а задача Университета обеспечить эти лаборатории научными кадрами, направить для работы в них аспирантов и молодых ученых, возможно и сотрудники отраслевых предприятий возьмутся за решение научных задач в таких лабораториях и реализуют свои идеи на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- 1 Северный морской путь: проблемы и надежды Арктики. -Режим доступа: <http://pro-arctic.ru/24/03/2017/resources/25787>. -20.12.2017
- 2 Захаров, Н.Н. Государственно-частное партнерство в сфере образования – социально-экономический аспект / Н.Н. Захаров, В.П. Черданцев, М.В. Тронина // -Фундаментальные исследования. -2015. -№6-2. -С. 340-343.
- 3 Глушко, Ю.В. Особенности государственно-частного партнерства в сфере образования в России и за рубежом / Ю.В. Глушко, Н.В. Колодина // -Государственно-частное партнерство. -2017. -Т.4. -№2. -С. 147-154.

- 1 The Northern Sea Route: Problems and Hopes of the Arctic [Severnnyy morskoy put': problemy i nadezhdy Arktiki]. URL: <http://pro-arctic.ru/24/03/2017/resources/25787>. -December 20, 2017
- 2 Zakharov N.N., Cherdantsev V.P., Tronina M.V., Public-private partnership in education - social and economic aspect [Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo v sfere obrazovaniya – sotsial'no-ekonomicheskiy aspekt]. Fundamental'nye issledovaniya. 2015. No. 6-2. pp. 340-343.
- 3 Glushko Yu.V., Kolodina N.V., Key features of public-private partnership in education in Russia and in other countries [Osobennosti gosudarstvenno-chastnogo partnerstva v sfere obrazovaniya v Rossii i za rubezhom]. Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo. 2017. Vol. 4. No. 2. pp. 147-154.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** образование, филиал, государственно-частное партнерство  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Щербинина Марина Александровна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 Коновалов Валерий Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
 Напренко Анна Андреевна, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

<b>Абдулатипов М.А.</b> СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК ВОДНЫМ ТРАНСПОРТОМ РОССИИ В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ.....	5
<b>Зачёсов А.В.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ФЛОТА НА ВОДНЫХ ПУТЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА.....	8
<b>Шестаков Ю.И., Колодяжная О.В., Носенко Е.А.</b> ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНОГО ФЛОТА ТОМСКОЙ СУДОХОДНОЙ КОМПАНИИ.....	12
<b>Шестаков Ю.И., Колодяжная О.В., Носенко Е.А.</b> АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РАСХОДОВ НА ТОПЛИВО ТРАНСПОРТНОГО ФЛОТА АО «ТОМСКАЯ СУДОХОДНАЯ КОМПАНИЯ».....	15
<b>Аухадеев А.Э., Бутаков В.М., Павлов П.П., Филина О.А.</b> ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИНЕРГЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА.....	24
<b>Павлов П.П., Аухадеев А.Э., Киснеева Л.Н., Рылов Ю.А.</b> РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ДОСТИЖЕНИЙ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ.....	27
<b>Проказов А.Е., Бирюков В.В.</b> ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА ГОРОДА.....	31
<b>Бирюков В.В., Панченко Ю.В.</b> ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОРОДОВ.....	34
<b>Соляков О.В., Першин Н.В., Шарапов И.Д.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ МОРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПЕРЕВОЗКАХ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В АРКТИКЕ.....	36
<b>Павлова В.Л., Рублев М.Г.</b> СТРАХОВАНИЕ ОТ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ. КАКИЕ РИСКИ ПОПАДАЮТ ПОД СТРАХОВКУ?.....	45
<b>Павлова В.Л., Рублев М.Г.</b> ОСОБЕННОСТИ СТРАХОВАНИЯ ОТ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПО АУТСОРСИНГУ И АУТСТАФИНГУ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ.....	49
<b>Масленников С.Н.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВЫХ МОДУЛЕЙ И ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ СУДОХОДНЫМИ КОМПАНИЯМИ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ.....	52
<b>Фуфачева М.В.</b> ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ.....	55
<b>Виниченко В.А.</b> MODUS VIVENDI ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ СИБИРСКОГО СЕВЕРА И КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ.....	59

---

### ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

<b>Моторин С.В., Голышев Н.В., Зуева А.А.</b> КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ УРОВНЕЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЯДА НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ.....	63
<b>Михайлова Т.Н., Пилипенко Т.В., Ахматова Н.П., Фоминых М.Г.</b> АНАЛИЗ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ ПО РУКАВАМ КЫЛЛАХСКО-ОЛЁКМИНСКОГО УЗЛА ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД.....	67
<b>Шамова В.В., Мерзляков Д.А.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕКАТНЫХ УЧАСТКОВ.....	71

---

### СУДОВОЖДЕНИЕ

<b>Комаровский Ю.А.</b> ТОЧНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВКИ ЛАГА С ПОМОЩЬЮ СРНС-ПРИЁМНИКА.....	74
<b>Сухих А.А., Сичкарев В.И.</b> КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАБИЛИ-ЗАТОРА СПАСАТЕЛЬНОГО ПЛОТА.....	78
<b>Потутаровский А.И.</b> ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ СОХРАНЕНИЯ ПЛАВУЧЕСТИ И ОСТОЙЧИВОСТИ АВАРИЙНЫХ СУДОВ ЭЛАСТО-ПНЕВМО-КОНСТРУКТИВНЫМ МЕТОДОМ.....	82
<b>Потутаровский А.И.</b> РАЗВИТИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА МОРЕ.....	85
<b>Бимбереков П.А., Поттахова Е.Р., Рыбников Д.Ю.</b> ПОСТРОЕНИЕ АППРОКСИМАЦИОННЫХ ВЫРАЖЕНИЙ ГРАФИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ПОДЖАТИЯ СТРУИ НА ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОМЁТНОГО ДВИЖИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА.....	89
<b>Заводовская А.И.</b> АНАЛИЗ НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЁННЫХ ГИБКИХ НИТЕЙ.....	92

---

### ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

<b>Кочергин В.И.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ.....	97
------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Симашов Р.Р., Маницын В.В., Глазюк Д.К.</b> АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И ЭФФЕКТИВНОСТИ САМОРЕГЕНИРИРУЮЩИХСЯ ФИЛЬТРОВ СУДОВЫХ СИСТЕМ ТОПЛИВО- И МАСЛООЧИСТКИ .....	101
<b>Грибиниченко М.В., Кончаков Е.И., Минаев А.Н.</b> ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И СОСТАВА КОМПЛЕКСА «ДИЗЕЛЬ-ЭКСПЛУАТАЦИЯ-ТОПЛИВО-МАСЛО-ОЧИСТКА» НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАСЛООЧИСТИТЕЛЕЙ .....	105
<b>Борейко Р.М.</b> РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ АТМОСЕРНОГО ВОЗДУХА .....	109
<b>Кича Г.П., Семенюк Л.А.</b> ПОЛНОПОТОЧНАЯ ТОНКАЯ ОЧИСТКА МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ КОМБИНИРОВАНИЕМ ФИЛЬТРОВАНИЯ И ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ .....	112
<b>Викулов С.В.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕРОЯТНОСТНОГО АЛГОРИТМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ .....	118
<b>Мироненко И.Г., Токарев А.О., Мироненко А.Г., Кузнецов А.Ф., Федотова Е.С., Щербаков Р.И., Тетерина М.Г.</b> ДИАГНОСТИКИ СВАРНЫХ ШВОВ МЕТОДОМ МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА .....	120
<b>Кузьмин В.И., Дмитриев А.С., Сибриков А.С.</b> ВЫБОР МАТЕРИАЛА И ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА СТЕНКУ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЯ .....	127
<b>Дмитриев А.С., Кузьмин В.И., Сибриков Д.А., Юр Г.С.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ Ч10,5/12 С ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННОЙ КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ .....	130
<b>Дмитриев А.С., Кузьмин В.И., Титов С.В., Юр Г.С.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ С ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННЫМ ПРОФИЛИРОВАННЫМ ПОРШНЕМ .....	132
<b>Дмитриев А.С., Титов С.В., Юр Г.С.</b> АНАЛИЗ ВОЗМУЩЕННОГО СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕГО ТЕЛА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ .....	135
<b>Кича Г.П., Тарасов М.И.</b> КОНСТРУКТИВНЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ УГАРА МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ .....	138
<b>Тарасов М.И., Кича Г.П.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГАРА МАСЛА НА ЕГО СТАРЕНИЕ И СОСТОЯНИЕ МАЛОРАЗМЕРНОГО ДИЗЕЛЯ .....	143
<b>Лебедев Б.О., Самойлов И.С.</b> КАК ИСПОЛЬЗОВАТЬ БРОСОВУЮ ТЕПЛОВУЮ ЭНЕРГИЮ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ .....	147
<b>Кучеров В.Н.</b> МЕТОД РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ УГЛОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ СУДОВОГО МАЛООБОРОТНОГО ДИЗЕЛЯ .....	149
<b>Шувалов Г.В., Васильева Т.В.</b> МЕТОДИЧЕСКОЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ .....	152
<b>Шувалов Г.В.</b> МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ .....	155
<b>Пичурин А.М., Пичурина И.А.</b> ОСОБЕННОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ НА СУДАХ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ .....	159
<b>Шувалов Г.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭТАЛОНА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ ЧАСТИЦ ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ .....	161
<b>Мищенко П.А., Соляков О.В., Титов С.В.</b> СКРУББЕР С ПЕННЫМ АППАРАТОМ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПЕННОГО АППАРАТА .....	165
<hr/>	
<b>ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА</b>	
<b>Гловов А.А., Денчик Ю.М., Сальников В.Г.</b> КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НЕСИММЕТРИЧНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ .....	172
<b>Телегин А.В., Базавлук А.А., Денчик Ю.М., Сальников В.Г.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГИСТРАЦИИ АВАРИЙНЫХ СОБЫТИЙ В СЕТЯХ 6-110 кВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ .....	175
<b>Белицын И.В., Хомутов С.О., Котугин Е.А.</b> РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ .....	181
<b>Белицын И.В.</b> АЛГОРИТМ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ .....	184
<b>Белицын И.В.</b> СРАВНЕНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НЕСИММЕТРИИ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ .....	188

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

<b>Манусов В.З., Назаров М.Х.</b> ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ СО СВЕРХПРОВОДНИКОВОЙ ОБМОТКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D МОДЕЛИ.....	191
<b>Бирюков В.В., Бахолдин Д.А.</b> ЭЛЕКТРОБУС ДЛЯ ВНУТРИГОРОДСКИХ ПЕРЕВОЗОК ПассажиРОВ .....	196
<b>Манусов В.З., Орлов Д.В.</b> ДИАГНОСТИКА ПРИЗНАКОВ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО МЕТОДУ АНАЛИЗА ИЕРАРХИИ.....	198
<b>Логутенко Н.С., Бирюков В.В.</b> СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА.....	203
<b>Манусов В.З., Хасанзода Н.</b> ХОЛОНИЧЕСКИЙ ПОДХОД ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ В КОНЦЕПЦИИ SMART GRID ПРИ ДВУСТОРОННЕМ ПОТОКЕ ЭНЕРГИИ.....	206
<b>Иванов В.В., Мятёж С.В., Дубинина И.В.</b> АНАЛИЗ СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ОДНОФАЗНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ С ОЦЕНКОЙ ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	211
<b>Янцен Е.А., Сопов В.И.</b> ЛИНЕЙНЫЕ УСТРОЙСТВА ТЯГОВОЙ СЕТИ НА БЕСКОНТАКТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯХ С НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ .....	214
<b>Куликов К.И., Щуров Н.И.</b> ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА.....	216
<b>Трухин Ф.В., Малозёмов Б.В.</b> ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА.....	220
<b>Литвиненко Р.С., Литвиненко А.Р.</b> НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА.....	223

---

### ЭКОЛОГИЯ

<b>Покусаев М.Н., Хмельницкая А.А.</b> ОПЫТОВЫЙ БАСЕЙН ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ПОДВЕСНЫХ ЛОДОЧНЫХ МОТОРОВ МАЛОМЕРНЫХ СУДОВ.....	227
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

---

### ТРАНСПОРТНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

<b>Щербинина М.А., Коновалов В.В., Наприенко А.А.</b> ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФИЛИАЛОВ СИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ВОДНОГО ТРАНСПОРТА.....	231
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

---



**к 80-летию ВЕРЕВКИНА  
Владимира Федоровича**

Инженер-электрик, профессор, доктор технических наук, доктор транспорта, заведующий кафедрой электрооборудования и автоматики судов Морского государственного университета (МГУ) имени адмирала Г.И. Невельского, академик Российской академии транспорта, действительный член Международной академии экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ), действительный член Британского института морских инженеров, ученых и технологов (FIMareST), действительный член Русского географического общества, Почетный член Общества изучения Амурского края (ОИАК), Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, Отличник высшей школы СССР, Почетный работник морского флота СССР, член профессорского клуба г. Владивостока и член морского собрания г. Владивостока Владимир Федорович Веревкин родился 4 октября 1937 года в дальневосточном городе Владивостоке.

После окончания в 1961 году электротехнического факультета Дальневосточного политехнического института (ДВПИ) до 1966 года В.Ф. Веревкин работал на китобойной антарктической флотилии «Советская Россия» в должностях от судового электрика до второго электромеханика. Был участником четырех антарктических рейсов, в том числе совершил кругосветный.

Начиная с должности доцента в 1966 году, и по настоящее время, Владимир Федорович работает в МГУ имени адмирала Г.И. Невельского. Основным преподаваемым им около 50 лет курсом являются «Гребные электрические установки» (ГЭУ). Около 30 лет В.Ф. Веревкин является заведующим выпускающей кафедрой электрооборудования и автоматики судов (ранее – электрооборудования судов), более 10 лет был деканом электромеханического факультета. К настоящему времени электромеханический факультет МГУ имени адмирала Г.И. Невельского окончили около двух тысяч курсантов и студентов, и примерно пятая часть из них была дипломниками Владимира Федоровича, которые защищали свои дипломные проекты в основном на «хорошо» и «отлично». Курсантские работы, выполненные под его руководством, представлялись на ВДНХ СССР, выставках «Океан», получали грамоты и медали на различных региональных конкурсах, а также на всесоюзном конкурсе студенческих работ, на котором четверо курсантов получили медали «За лучшую студенче-



скую работу», а ему была присуждена почетная грамота Министерства высшего и среднего образования СССР и ЦК ВЛКСМ за научное руководство.

В 1975 году в Ленинградском высшем инженерном морском училище (ЛВИМУ) имени адмирала С.О. Макарова им была защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Вся его последующая научная деятельность в основном связана с электродвижением малотоннажных судов. Под руководством В.Ф. Веревкина было выполнено 12 хоздоговорных и госбюджетных работ, большая часть из которых связана с разработкой аккумуляторных энергоустановок для малотоннажных судов. В 1979 году он получил первую премию на конкурсе НТО Водного транспорта имени В.И. Полонского в области электродвижения судов за работу «Малотоннажные электроходы», а в 1996 году был удостоен гранта губернатора Приморского края.

С приобретением научно-педагогического опыта расширялся круг научных интересов Владимира Федоровича. В 1996 году он защитил первую за Уралом и вторую в стране докторскую диссертацию по специальности «История науки и техники» на тему «Развитие электродвижения судов на Дальнем Востоке России».

В.Ф. Веревкин является автором и соавтором более 180 учебно-методических и научных работ, включая 16 разноплановых книг, 12 отчетов о научно-исследовательских работах, три патента. Имеет правительственные и ведомственные награды, но главная награда для него – это уважение окружающих, коллег, обучающихся и выпускников.

Коллеги по профессии, курсанты и выпускники поздравляют Владимира Федоровича Веревкина с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, семейного благополучия, творческих успехов и всего самого наилучшего.

Редакция журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока» присоединяется к этим поздравлениям и надеется на продолжение нашего плодотворного сотрудничества.

*Редакционная коллегия*

## ПОРЯДОК ПРИЕМА МАТЕРИАЛОВ

### Уважаемые коллеги!

Редакция журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока», приглашает Вас опубликовать результаты Ваших научных исследований в очередном номере журнала. Материалы (заявку и статью) просим высылать ответственному секретарю журнала Коновалову В.В. по электронной почте: [konovalov@nsawt.ru](mailto: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)		
Организация (полное юридическое название и полный почтовый адрес работы каждого из авторов)		
Автор(ы) (ФИО полностью, ученая степень, занимаемая должность, числовой идентификационный номер автора: Author ID в системе РИНЦ)		
Количество ссылок на литературу		
Координаты для обратной связи (ФИО полностью, адрес электронной почты, мобильный телефон*)		

\*-номер мобильного телефона необходим для оперативного решения возможных вопросов по поводу публикации и разглашению не подлежит

С условиями публикации ознакомлен(ы), представленный материал ранее не был опубликован, о рецензировании статьи компетентным по тематике статьи лицом не возражаю.

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](mailto: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  
№3-4 за 2017 год

Главный редактор – Зачёсов В.П.

Ответственный за выпуск – Коновалов В.В.  
Перевод на английский язык – Руденко К.Д.

Подписано в печать 21.12.2017 г. с оригинал-макета  
Бумага офсетная №1, формат 60x84 1/8, печать трафаретная – Riso.  
Усл. печ. л. 27,4; тираж 500 экз. Заказ №261  
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