

Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Волжский государственный университет водного транспорта



ISSN 2713-1858

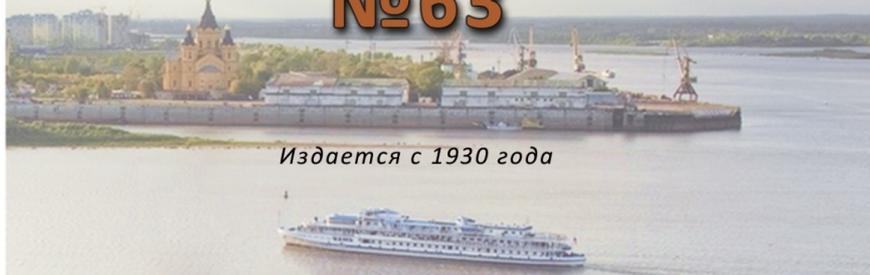
Научные проблемы водного транспорта № 63 2020



Вестник ВГАВТ

№ 63

Издается с 1930 года



Нижний Новгород
2020

Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Волжский государственный университет водного транспорта

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Вестник ВГАВТ

Выпуск 63

Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
Н. Новгород, 2020

УДК 33+55+62+65+72

В 38

Научные проблемы водного транспорта. Выпуск 63. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – 202 с.

Редакция: журнала:

Главный редактор	– Кузьмичев И.К. д.т.н., проф.
Первый заместитель главного редактора	– Минеев В.И. д.э.н., проф.
Заместитель главного редактора	– Корнев А.Б. к.т.н., доц.
Заместитель главного редактора	– Отделкин Н.С. д.т.н., проф.
Ответственный редактор	– Митрошин С.Г. к.т.н. доц.
Ответственный секретарь	– Раева О.А.

Редакционная коллегия:

Бажан П.И.	д.т.н., проф.	Безюков О.К.	д.т.н., проф.
Белых В.Н.	д.ф.-м.н., проф.	Бик Ю.И.	д.т.н., проф.
Ваганов А.Б.	д.т.н., доц.	Волков И.А.	д.ф.-м.н., проф.
Вычужанин В.В.	д.т.н., проф.	Гаврилов А.И.	д.э.н., проф.
Гирин С.Н.	к.т.н., проф.	Грамузов Е.М.	д.т.н., проф.
Ермаков С.А.	д.ф.-м.н., проф.	Зуев В.А.	д.т.н., проф.
Иванов В.М.	к.т.н., проф.	Казakov Н.Н.	к.т.н., доц.
Клементьев А.Н.	д.т.н., проф.	Корнилов Д.А.	д.э.н., проф.
Королев Ю.Ю.	к.э.н., доц.	Костров В.Н.	д.э.н., проф.
Лаврентьева Е.А.	д.э.н., проф.	Марсеев Е.А.	д.ф.-м.н., чл.-кор. РАН
Матвеев Ю.И.	д.т.н., проф.	Никущенко Д.В.	д.т.н., проф.
Мордовченков Н.В.	д.э.н., проф.	Озина А.М.	д.э.н., проф.
Роннов Е.П.	д.т.н., проф.	Ситнов А.Н.	д.т.н., проф.
Удалов О.Ф.	д.э.н., проф.	Уметалиев А.С.	д.э.н., проф.
Уртминцев Ю.Н.	д.т.н., проф.	Франк Венде	к.т.н., проф.
Цветков Ю.Н.	д.т.н., проф.		

Редакционный совет журнала:

Алексеев В.Я. – Генеральный директор ОАО «Порт Коломна»
Бессмертный Д.Э. – Руководитель ФБУ «Администрация волжского бассейна», к.т.н.
Ежов П.В. – Генеральный директор ООО «Си Тех»
Ефремов Н.А. – Первый заместитель генерального директора ФАУ РРР, д.э.н.
Марсеев Е.А. – Заместитель директора ИПФ РАН по научной работе, д.ф.-м.н., профессор, член-корр. РАН
Мочалина Н.Н. – Первый заместитель министра – начальник Управления природопользования Министерства экологии и природных ресурсов Нижегородской области
Столповицкий К.С. – сотрудник проектного офиса по реализации реформы контрольной и надзорной деятельности Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации
Теодор де Йонге – Генеральный директор «Numeriek Centrum Groningen B.V.», Нидерланды
Франк Венде – Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg, ФРГ, PhD
Шаталов В.В. – Генеральный директор ОАО КБ «Вымпел», профессор

«Научные проблемы водного транспорта» (старое название «Вестник ВГАВТ») – журнал широкой научной тематики, посвященный вопросам водного транспорта. Материалы выпуска рекомендуются научным сотрудникам, преподавателям высших учебных заведений, инженерам, аспирантам и студентам соответствующих специальностей

© ВГУВТ, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел I

Водные пути, порты и гидротехнические сооружения

Ситнов А.Н., Кочкурова Н.В.

Оценка гидрологического режима р. Тёша в районе г. Арзамас при обосновании проектных решений 11

Раздел II

Судостроение, судоремонт и экологическая безопасность судна

Алсаид М., Саламех А., Мамонтов В.А., Азизова Г.У.

Сравнительный анализ результатов механических испытаний многослойного полимерного композитного материала..... 27

Гордяскина Т.В., Грошева Л.С.

Исследование элементов судовой приемо-передающей аппаратуры на базе сигнального процессора TMS320C510 40

Гуляев И.А., Кочнев Ю.А., Роннов Е.П.

Математическая модель расчёта массы металлического корпуса комбинированного судна 48

Давыдова С.В., Андриянов И.В.

Принципы систематизации судовой поверхности буксирных судов при разработке теоретического чертежа интерполяционным методом..... 55

Кочнева И.Б.

Формирование условия целесообразности утилизации судна..... 62

Лебедева Е.Г., Шванева Ю.Ю., Волоцкой А.А., Сомпольцева А.А.

Реализация информационной поддержки жизненного цикла изделий судостроения как этап построения «бережливого производства»..... 68

Мизгирев Д.С., Гурьянов Н.М.

Анализ технических решений судовых систем питьевой воды..... 77

Мольков А.А., Пелевин В.В.

Натурные исследования особенностей флуоресценции тонких пленок на фоне эвтрофной воды в условиях ветрового волнения 90

Степанова А.А., Михеева Т.А.

Выбор изоляционно-защитных материалов для помещений плавучего ресторана класса «р» методом многокритериального сравнения альтернативных вариантов..... 103

Чебан Е.Ю., Мартымянова О.В., Митрошин С.Г., Зотова Н.Е., Логвинов А.В.

Оценка волнообразования большегрузного катамарана с различными формами внутреннего борта 109

Раздел III

Экономика, логистика и управление на транспорте

Минеев В.И., Иванов В.М., Иванов М.В.

Оценка состояния и перспектив развития контейнерных перевозок внутренним водным транспортом123

Платов Ю.И.

Влияние субъективных факторов на внедрение информационных технологий на речном транспорте138

Телегин А.И., Гончарова Н.В., Юлова А.В.

Метод формирования возможных типовых транспортно-логистических схем перевозки пассажира на внутригородских и пригородных маршрутах для определения времени поездки148

Цверов В.В., Левочкина М.А.

Научно-методический подход к обеспечению доставки грузов по принципу «точно в срок» на речном транспорте160

Раздел IV

Эксплуатация водного транспорта, судовождение и безопасность судоходства

Веселов Г.В., Кузьмичев И.К., Минеев В.И., Новиков А.В.

Проблема безопасности и надежности организации экспортно-импортных перевозок в коридоре север-юг-север171

Раздел V

Эксплуатация судового энергетического оборудования

Горлова Н.Н., Медведев Г.В.

Оценка зависимости степени очистки отработавших газов судовых энергетических установок от коррозионной стойкости и количества состава каталитического материала183

Федоровская Н.К.

Отрицательное антропогенное воздействие систем охлаждения энергоустановок и пути его преодоления193

Federal Agency of Sea and River Transport
Volga State University of Water Transport

**RUSSIAN JOURNAL
OF WATER TRANSPORT**

Issue 63

VSUWT publishing house
N. Novgorod, 2020

Editor-in-chief	– D.Sc.(Tech.) Professor Kuzmichev I.K.
First Deputy Editor	– D.Sc.(Econ.), Professor Mineev V.I.
Deputy Editor-in-chief	– Ph.D. Associate Professor.Kornev A.B
Deputy Editor-in-chief	– D.Sc.(Tech.) Professor Otdelkin N.S.
Contributing Editor	– Ph.D. Associate Professor.Mitroshin S.G.
Executive secretary	– Raeva O.A.

The Editorial Board: of the journal

Bazhan P.I.	D.Sc.(Tech.), Professor	Bezyukov O.K.	D.Sc.(Tech.), Professor
Belykh V.N.	D.Sc.(Phys.&Math.), Prof	Bik Y.I.	D.Sc.(Tech.), Professor
Vaganov A.B.	Ph.D. Associate Professor	Volkov I.A.	D.Sc.(Phys.&Math.), Prof
Vychuzhanin V.V.	D.Sc.(Tech.), Professor	Gavrilov A.I.	Ph.D.(Econ.), Professor
Girin S.N.	Ph.D. Associate Professor	Gramuzov E.M.	D.Sc.(Tech.), Professor
Ermakov S.A.	D.Sc.(Phys.&Math.), Prof	Zuev V.A.	D.Sc.(Tech.), Professor
Ivanov V.M.	Ph.D. Associate Professor	Kazakov N.N.	Ph.D. Associate Professor
Klement'ev A.N.	D.Sc.(Tech.), Professor	Kornilov D.A.	Ph.D.(Econ.), Professor
Korolev Y.Y.	Ph.D. Associate Professor	Kostrov V.N.	D.Sc.(Econ.), Professor
Lavrentieva E.A.	Ph.D.(Econ.), Professor	Mareev E.A.	D.Sc.(Phys.&Math.), Prof
Matveev Y.I.	D.Sc.(Tech.), Professor	Nikushenko D.V.	D.Sc.(Tech.), Professor
Mordovchenkov N.V.	D.Sc.(Econ.), Professor	Ozina A.M.	Ph.D.(Econ.), Professor
Ronnov E.P.	D.Sc.(Tech.), Professor	Sitnov A.N.	D.Sc.(Tech.), Professor
Udalov O.F.	Ph.D.(Econ.), Professor	Umetaliev A.S.	Ph.D.(Econ.), Professor
Urtmintsev Y.N.	D.Sc.(Tech.), Professor	Frank Wende	Ph.D. Associate Professor
Tsvetkov Yu.N.	D.Sc.(Tech.), Professor		

The Editorial Council of the journal

Alekseev V.J. – General Director of JSC «Port Kolomna»
Bessmertnui D.E. – The head of the FBI «The administration of the Volga basin», Ph.D.
Ezov P.V. – General Director of «Sea Tech»
Efemov, NA – First Deputy General Director of the State PPP, Ph.D.
Mareev EA – Deputy Director of the IAP RAS on scientific work, Dr., Professor, Corresponding Member. RAS
Mochalina N. N. – First Deputy Minister – the head of the Natural Resources Department of the Nizhny Novgorod region Ecology and Natural Resources Ministry
Sazonov I.G. – Deputy Minister of Industry of Nizhny Novgorod Region
Stolovitsky K. S. - manager of the project office for the implementation of the reform of the control and supervisory activities of the Analytical Center under the Government of the Russian Federation
Theodore de Jonge – General Director of «Numeriek Centrum Groningen BV», The Netherlands
Frank Wende – Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg, Germany, PhD.
Shatalov V.V. – General Director of CB «Vympel», Professor

CONTENTS

Section I

Waterways, ports and hydraulic engineering constructions

Sitnov A.N., Kochkurova N.V.

The river Tesha hydrological regime assessment in the Arzamas town area when justifying project decisions..... 11

Section II

Shipbuilding, ship repair, and ecological safety of the ship

Alsaid M., Salamekh A., Mamontov V.A., Azizova G.Y.

The results of multi-layered polymer composite material mechanical testing comparative analysis 27

Gordyaskina T.V., Grosheva L.S.

The ship's receiving and transmitting equipment elements research based on the TMS320C5510 signal processor..... 40

Gulyaev I.A., Kochnev Y.A., Ronnov E.P.

Mathematical model for calculating the mass of the metal hull of a combined vessel 48

Davydova S.V., Andriyanov I.V.

Principles of the tugboats' surface systematization in the development of theoretical drawing by the interpolation method 55

Kochneva I.B.

Creation of a condition for the ship recycling expediency 62

Lebedeva E.G., Shvaneva Yu.Yu., Volotskoi A.A., Sompoltseva A.A.

Implementation of information support for the shipbuilding products life cycle as a stage of creating «lean production»..... 68

Mizgirev D.S., Guryanov N.M.

Analysis of technical solutions for ship potable water systems 77

Molkov A.A., Pelevin V.V.

Full-scale studies of fluorescence features of surfactant films on eutrophic water wavy surface 90

Stepanova A.A., Mikheeva T.A.

Selection of insulation-sewing materials for rooms of class «R» floating restaurant by the method of multi- criteria comparison of alternative options..... 103

Cheban E.Yu., Martemianova O.V., Mitroshin S.G., Zotova N.E., Logvinov A.V.

Estimation of the wave formation for extra-capacity catamaran with various forms of inner sides..... 109

Section III

Economics, logistics and transport management

Mineev V.I., Ivanov V.M., Ivanov M.V.

Assessment of condition and development prospects of container transportation by Inland water transport.....123

Platov J.I.

Influence of subjective factors on the implementation of information technologies on river transport.....138

Telegin A.I., Goncharova N.V., Yulova A.V.

Method of forming possible standard transport and logistics schemes for passenger transportation on intercity and suburban routes to determine the trip time.....148

Tsverov V.V., Levochkina M.A.

Scientific-methodical approach to cargo delivery on the principle «just-in-time» on the river transport.....160

Section IV

Operation of water transport, navigation and safety of navigation

Veselov G.V., Kuzmichev I.K., Mineev V.I., Novikov A.V.

The problem of safety and reliability of the export-import traffic organization in the north-south-north corridor.....171

Section V

Operation of ship power equipment

Gorlova N.N., Medvedev G.V.

Assessment of the dependence of ship power plants exhaust gases purification degree on corrosion resistance and the amount of the catalytic material composition.....183

Fedorovskaya N.K.

Negative anthropogenic influence of cooling systems of power plants and ways of its overcoming.....193

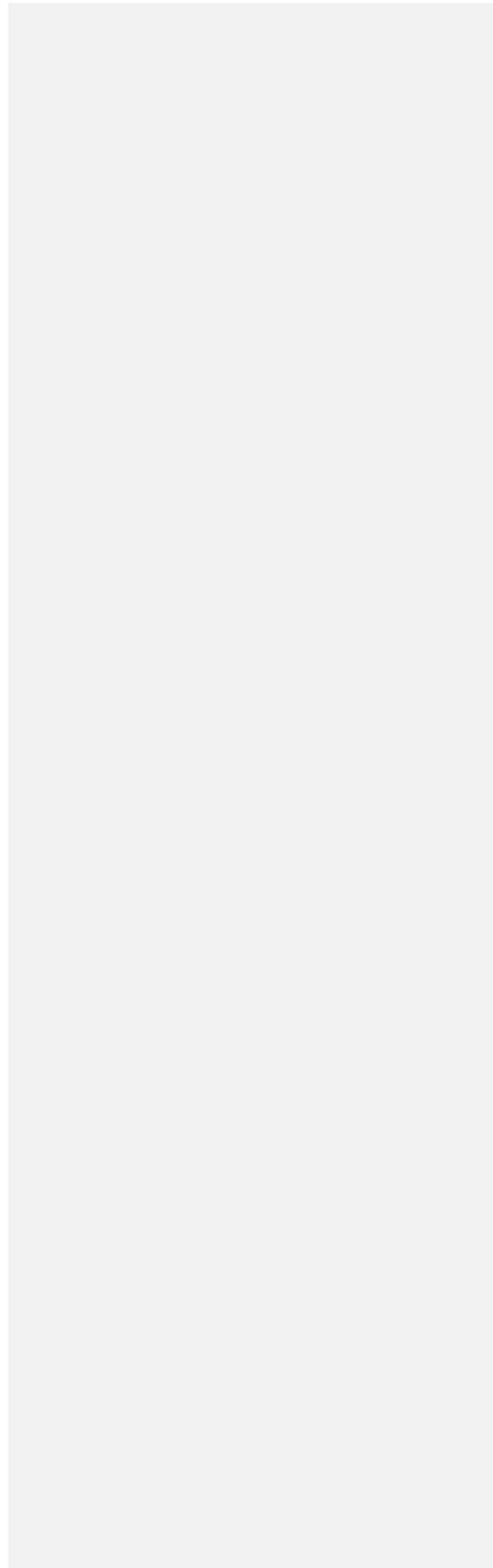
Раздел I

***Водные пути, порты
и гидротехнические сооружения***



Section I

***Waterways, ports and hydraulic
engineering constructions***



ОЦЕНКА ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА р. ТЁША В РАЙОНЕ г. АРЗАМАС ПРИ ОБОСНОВАНИИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

А.Н. Ситнов

Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия

Н.В. Кочкурова

Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье дается оценка гидрологического режима на участке реки Тёша, полученная при предпроектном изучении объекта для принятия проектных решений по расчистке русла реки. Изученность бассейна реки Тёша достаточна, однако на рассматриваемом участке отсутствовали данные многолетних наблюдений за параметрами гидрологического режима реки, для чего авторами произведены расчеты по восстановлению данных методом интерполяции между существующими гидрологическими постами, получению их репрезентативных рядов и определению гидрологических характеристик. Выявлена зависимость между изменением расходов и уровней воды в реке, а также морфологическими параметрами русла (глубиной, шириной, площадью поперечного сечения) и его гидравлическими характеристиками (скоростью течения, расходами). Выполненная оценка гидрологического режима дает возможность прогноза разлива реки при высоких уровнях воды и затопления близлежащей территории с последующим принятием проектных решений, включая определение мест затопления территории, выбор мест отвала грунта, сроки функционирования этих мест в зависимости от того, когда и как долго они будут затопляться в течение года.

Ключевые слова: гидрологический режим реки, гидропост, расход воды, уровень воды, средняя глубина, скорость течения, многолетние наблюдения, половодье, паводок, русло, пойма.

Введение

Гидрологический режим рек является определяющим при производстве различного вида работ на них. Изучение гидрологического режима рек, закономерностей его формирования, изменения ведётся во всем мире [1–7, 13–15, 18–22 и др]. Множество различных вопросов связано с изменением гидрологического режима рек: взаимосвязь поверхностных и подземных вод [3], влияние климатических изменений [4], уровень режим рек [5], преобразование рек во времени под действием совокупности факторов [6], влияние экологических проблем и антропогенных факторов [7, 19, 21]. Определение гидрологических характеристик в различных условиях является важной практической задачей при проектных работах и рассматривается не только в нормативной литературе [8, 9], но и научных изысканиях [1, 2, 10, 11, 12, 18, 22]. Иногда исследования осложняются недостатком изученности водного объекта и отсутствием многолетних наблюдений на гидропостах. В данной статье рассмотрено изменение гидрологических характеристик участка реки в зависимости от взаимного влияния связанных между собой параметров русла и самих характеристик в многолетнем разрезе. Этому предшествовало восстановление значений расходов воды для участка реки с использованием данных многолетних наблюдений на двух смежных гидрологических постах, поскольку по рассматриваемому объекту они отсутствовали. Получены расчетные гидрологические параметры по характерным сечениям участка реки. Исследуемые факторы

гидрологического режима: расход воды, уровень воды, уклон свободной поверхности и скорости течения.

Материалы и методы

В рамках выполнения проектной работы по расчистке русла р. Теша Нижегородской области [16] были произведены гидрологические расчеты. Река Теша находится в Европейской части России полностью в Нижегородской области; правый приток р. Оки (бассейн реки Волги). Река берёт начало и протекает в пределах Приволжской возвышенности в направлении с юго-востока на северо-запад; в нижнем течении – по Окско-Тёшской низине. В верховье течение в реке быстрое, русло имеет ширину до 15 м, берега высокие, к ним подходят смешанные, а иногда и сосновые леса. Вдоль среднего течения леса преимущественно дубовые. Ниже по течению, после впадения притока р. Серёжа – смешанные, ширина русла здесь достигает 40–50 м, река образует крупные излучины.

Долина реки Теша хорошо разработана, трапециевидная. Ширина долины по дну в верховье до 300 м, далее вниз по течению постепенно расширяется от 0,8–1,0 до 1,5–2,5 км, на отдельных участках от 1,7 (с. Новое) до 4–5 км, местами в среднем и нижнем течении долина сужается до 600–800 м. Склоны долины изрезаны оврагами, балками, долинами притоков, а на участке от с. Шатки и примерно до впадения р. Леметь нередко нарушены карстовыми образованиями в виде воронок, большинство которых сухие и в настоящее время заилены; отдельные воронки, заполненные водой, представляют собой небольшие карстовые озера. Левый склон долины реки очень пологий, иногда пологий. Правый склон долины умеренно крутой, местами крутой, в остальной части пологий, преимущественно покрыт зрелым лесом или молодым смешанным лесом, в крутой части луговой, на более пологих своих участках распаханый под сельскохозяйственные угодья. Вопросы физико-географической характеристики бассейна р. Тёши рассмотрены в научной работе [17].

Пойма реки в верховье слабо выражена. Преобладающая ширина поймы в верхнем течении от 200 до 500 м, в среднем и нижнем течении от 600 м до 1,5 км, наибольшая ширина поймы до 2–3 км. Русло реки преимущественно сильно извилистое, местами (на участке сёл Саконь - Теплово) слабо извилистое, в нижнем течении меандрирующее. Дно реки относительно ровное, преимущественно песчаное, местами в ямах илисто-глинистое, на отдельных участках деформирующееся. Река, в основном, протекает в крутых, местами очень крутых, обрывистых, изредка отвесных, иногда, на отдельных излучинах, размываемых во время весеннего половодья, берегах. Высота берегов колеблется от 1.0 до 2–3 м, местами в нижнем течении берега достигают высоты 4–7 м.

Исследуемый участок реки Тёши находится в границах г. Арзамас протяженностью 11 км от автомобильного моста через р. Теша в районе с. Заречное до поселка Высокая гора. На участке изысканий имеются искусственные гидротехнические сооружения.

Большое влияние на водность р. Теша, характерные уровни и расходы половодья, межени и даты их наступления оказывают физико-географические факторы, определяемые географическим положением бассейна, рельефом местности, характером почвогрунтов, геологическим и гидрогеологическим строением бассейна реки, а также степенью озерности, заболоченности, лесистости. Параметры по последним факторам для площади водосбора гидропостов р. Теша характеризуются как умеренная озерность, слабая заболоченность, несколько возрастающая в нижнем течении и средняя лесистость. Если общая залесенность территории правобережья Нижегородской области в южной части составляет в среднем 15–25% площади бассейна, то по площади водосбора в створах гидропостов она колеблется от 27% до 55%.

Выполненный анализ гидрологического режима р. Теша показал его высокую изменчивость по длине реки от истока к устью. На исследуемом участке расположен гидропост Арзамас, который открыт 9 лет назад и является уровенным. Гидрологические

посты, на которых ведутся наблюдения за расходами воды, расположены выше в с. Новоселки и ниже по течению в с. Натальино (рисунок 1).

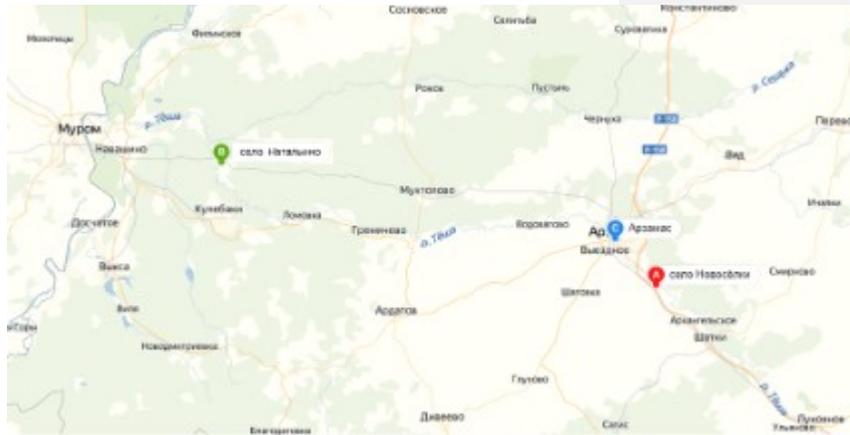


Рис. 1. Расположение гидропостов на р. Теша

Анализ выявленных гидрологических данных для р. Теша показал, что:

- максимальные годовые расходы происходят во время половодий;
- средние максимальные расходы половодий превышают среднегодовые расходы в 41,2 раза;
- дождевые паводки по анализируемым данным поста с. Новоселки случаются в 78,6% лет;
- средние максимальные расходы паводков превышают среднегодовые расходы в 2,25 раза;
- средние максимальные расходы половодий превышают средние максимальные расходы паводков в 18,3 раза;
- максимальные значения расходов половодий превышают максимальные значения расходов дождевых паводков в 5,26 раза.

Проведенные расчеты морфостворов р. Теша в характерных местах участка работ позволили получить расчетные данные по расходам разной обеспеченности для максимальных половодий и паводков, минимальных годовых расходов и соответствующих им уровней воды, средних скоростей течений, средних глубин.

Для определения расчетных гидрологических характеристик на рассматриваемом участке р. Теша было принято несколько характерных морфостворов (рисунок 2):

1. Сечение 1 – начало участка
2. Сечение 2 – самое узкое сечение
3. Сечение 3 – самое широкое сечение
4. Сечение 4 – конец участка.

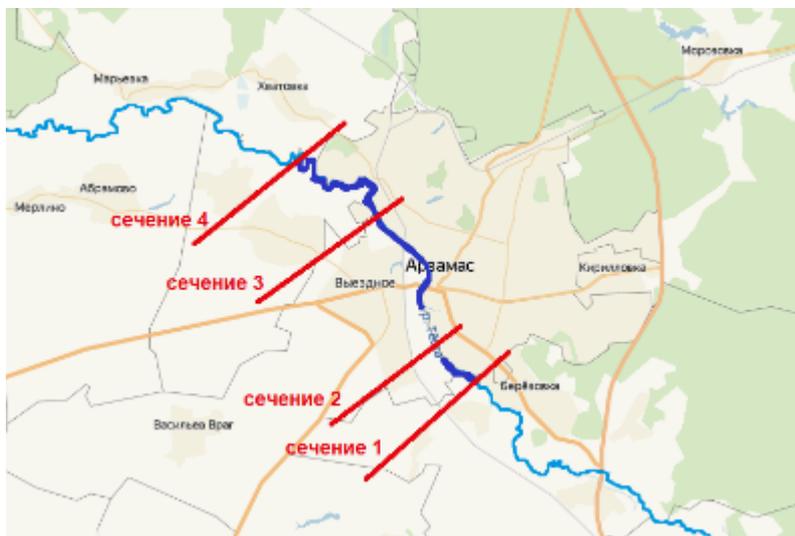


Рис. 2. Расположение морфостворов на рассматриваемом участке

В качестве исходных данных принят уклон свободной поверхности воды на участке по данным отметок уровней воды при производстве промерных работ. Коэффициент шероховатости принят по шкале шероховатости речных русел и пойм для равнинных рек при руслах, значительно заросших с промоинами и неровностями дна и берегов.

Особенностью гидрологических расчетов на рассматриваемом участке явилось отсутствие данных многолетних наблюдений на гидрологическом посту Арзамас, который находится непосредственно на участке. Из возможных существующих методов получения недостающих данных наблюдений было принято их восстановление методом интерполяции по площади водосбора между двумя имеющимися гидропостами (Новоселки и Натальино). Однако не всегда гидрологические характеристики (расход воды) по постам имели синхронность в отражении значений по годам и для расчета необходимых параметров применен корреляционно-регрессионный анализ, позволивший получить репрезентативные статистические ряды [16]. С использованием этих подходов восстановлены данные о расходах воды за период, достаточный для проведения дальнейших гидрологических расчетов.

Для каждого морфоствора применительно к максимальным расходам половодья, максимальным расходам паводка, наименьшим годовым расходам произведены расчеты ординат кривой расхода воды, расчетных уровней воды при расходах разной обеспеченности, построены поперечные профили по морфоствору и максимальные (минимальные) уровни разной обеспеченности, обобщенные кривые расходов по морфоствору в целом и по участкам (лево- и правобережные поймы, русло), обобщенные зависимости площадей живого сечения и скоростей течения от уровня воды.

Для получения характеристик морфостворов дополнительно использована и обработана статистическая информация по максимальным расходам паводков и минимальным годовым расходам гидропостов р. Теша аналогично алгоритму расчета максимальных расходов половодья.

Общий вид сечений морфостворов приведен на рисунке 3.

А.Н. Ситнов, Н.В. Кочурова

Оценка гидрологического режима р. Тёша в районе г. Арзамас при обосновании проектных ...

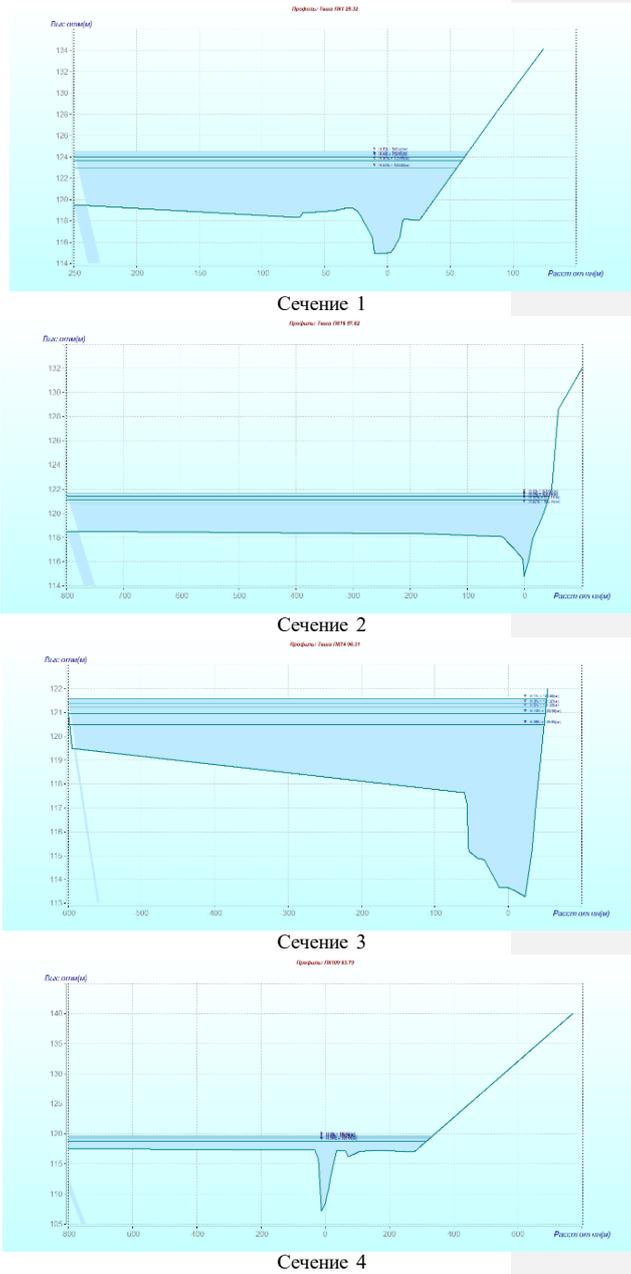


Рис. 3. Общий вид характерных сечений

Данные о морфологических и гидрологических характеристиках сечений приведены в таблице 1 и на рисунке 4.

Таблица 1

Расчетные параметры морфостворов при экстремальных значениях

Параметры морфостворов*	Морфостворы			
	Сечение 1 Начало участка	Сечение 2 Узкое русло	Сечение 3 Широкое русло	Сечение 4 Конец участка
Уровни воды, мБС				
Максимальных половодий	124,57÷123,0	121,65÷120,78	121,6÷120,5	119,62÷118,78
Максимальных паводков	119,12÷118,47	118,72÷118,45	116,08÷115,59	112,67÷111,64
Минимальных годовых	116,7÷116,17	117,56÷117,05	114,6÷114,27	109,67÷109,07
Площади живого сечения, м ²				
Максимальных половодий	1795,9÷1308,8	2812,0÷2079,5	2364,2÷1648,8	2993,5÷2008,0
Максимальных паводков	170,3÷88,1	380,4÷196,2	170,2÷126,6	111,6÷78,6
Минимальных годовых	31,8÷20,2	41,8÷24,0	49,5÷31,5	29,5÷18,5
Средняя скорость течения, м/с				
Максимальных половодий	0,19÷0,15	0,13÷0,10	0,2÷0,12	0,11÷0,10
Максимальных паводков	0,09÷0,08	0,04÷0,03	0,08÷0,06	0,12÷0,10
Минимальных годовых	0,06÷0,04	0,05÷0,04	0,04÷0,03	0,06÷0,05
Выход реки на пойму				
Максимальных половодий	да	да	да	да
Максимальных паводков	Да, на правую пойму	Да, на левую пойму	нет	нет
Минимальных годовых	нет	нет	нет	нет
Средняя глубина, м				
Максимальных половодий	5,70÷4,29	3,32÷2,48	3,62÷2,54	2,53÷1,72
Максимальных паводков	1,57÷1,78	0,53÷0,52	1,89÷1,43	3,24÷2,65
Минимальных годовых	1,36÷0,99	1,01÷0,83	0,85÷0,62	1,49÷1,05
Примечание:				
*в расчетах приняты значения параметров морфостворов в границах обеспеченностей:				
– Максимальные расходы половодий: 1, 3, 5, 10, 25%.				
– Максимальные расходы паводков: 1, 3, 5, 10, 25%.				
– Наименьшие в году расходы: 50, 75, 90, 95, 99%.				

В пределах рассматриваемого участка р. Теша характеризуется узким руслом, широкой и относительно пологой левобережной поймой и крутым правым берегом. В пределах каждой из этих морфологических особенностей изменение гидрологических факторов разное. Первая половина рассматриваемого участка, расположенная выше по течению, характеризуется узким по ширине руслом и небольшими глубинами. На второй половине (ниже по течению) ширина русла и его глубина значительно увеличиваются.

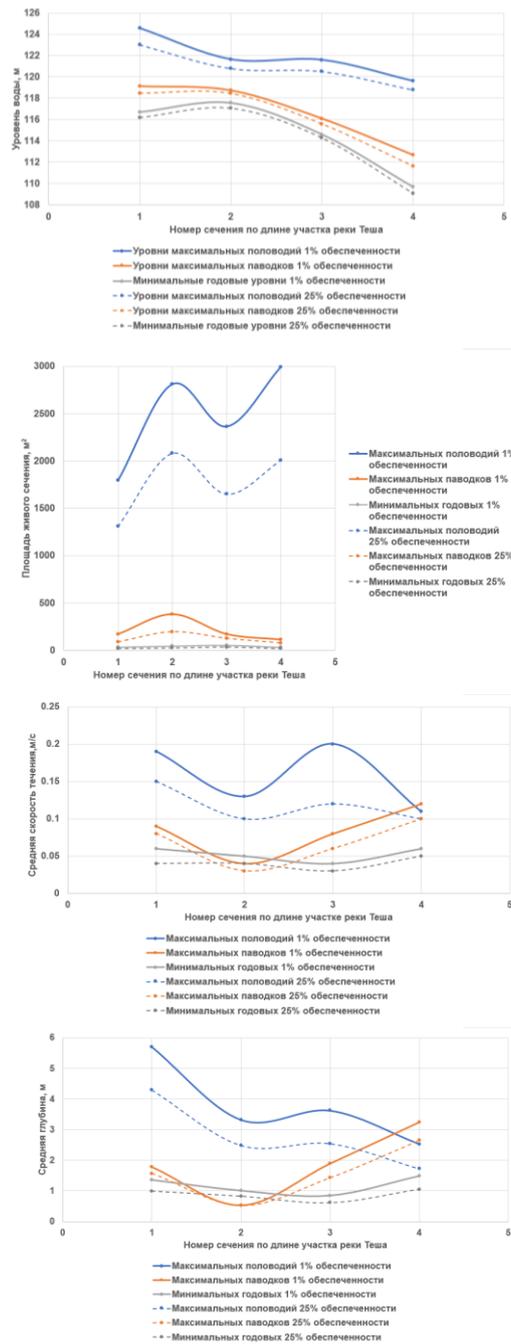


Рис. 4. Изменение экстремальных значений расчетных параметров морфостворов

Сечения 1 и 2 можно отнести к узким, но в сечении 2 почти в два раза больше средняя глубина. Сечения 3 и 4 можно отнести к широким, но сечение 4 более глубокое и узкое в пределах русла. Также в сечении 4 наблюдается расширение правобережной поймы.

Экстремальные значения расчетных параметров (средних скоростей течения и средних глубин) в ряде случаев имеют величины, незначительно выходящие за рамки логически объяснимых, но в целом вполне приемлемые для интерпретации и обоснования проектных решений.

Изменение гидрологических характеристик рассматриваемого участка реки Теша проведено по нескольким уровням в пределах русла и поймы, находящимся на близких высотных отметках, соответствующих 116, 117, 119 и 120 м. Отметки 116 и 117 м соответствуют русловому расположению уровней для всех сечений; уровень 119 м выходит на левобережную пойму во всех сечениях, кроме первого; уровни 120 м соответствуют затоплению поймы. Данные по характеристикам приведены в таблице 2.

Таблица 2

Гидрологические характеристики сечений при близких по значениям уровнях воды в пределах русла и поймы

ПК	Отметка уровня, Н(м)	Площадь, F (м.кв)	Ширина, В (м)	Ср.глубина, Нср(м)	Скорость, V(м/с)	Расход, Q(м.куб/с)
Для уровня воды, близкого к 116 м						
Сечение 1	115.91	15.13	18.93	0.8	0.04	0.53
Сечение 2	115.8	3.84	7.72	0.5	0.02	0.085
Сечение 3	116.28	188.14	90.68	2.07	0.08	15.4
Сечение 4	116.2	265.77	55.9	4.75	0.17	45.1
Для уровня воды, близкого к 117 м						
Сечение 1	116.91	36.86	24.66	1.49	0.06	2.29
Сечение 2	116.80	17.40	23.28	0.75	0.03	0.570
Сечение 3	117.28	280.77	95.52	2.94	0.11	30.3
Сечение 4	117.20	327.25	67.06	4.88	0.19	62.5
Для уровня воды, близкого к 119 м						
Сечение 1	118.91	110.77	54.55	2.03	0.09	10.2
Сечение 2	118.8	434.93	821.8	0.53	0.03	14.5
Сечение 3	119.28	870.25	576.76	1.51	0.11	92.2
Сечение 4	119.2	2496.22	1173.25	2.13	0.1	259
Для уровня воды, близкого к 120 м						
Сечение 1	119.91	394.46	286.45	1.38	0.07	29.2
Сечение 2	119.8	1261.32	830.97	1.52	0.07	83.1
Сечение 3	120.28	1506.02	645.96	2.33	0.12	175
Сечение 4	120.2	3680.21	1194.73	3.08	0.13	461

По данным таблицы видно, что второе сечение самое узкое, имеет минимальную площадь, ширину и среднюю глубину. Последнее сечение наибольшее по площади и глубине, однако ширина русла не максимальная.

При повышении уровня воды и выходе его на пойменные участки значения гидрологических факторов изменяются по-разному. Изменение зависит от морфологии пойменного участка (рисунок 5).

А.Н. Ситнов, Н.В. Кочкурова

Оценка гидрологического режима р. Тёша в районе г. Арзамас при обосновании проектных ...

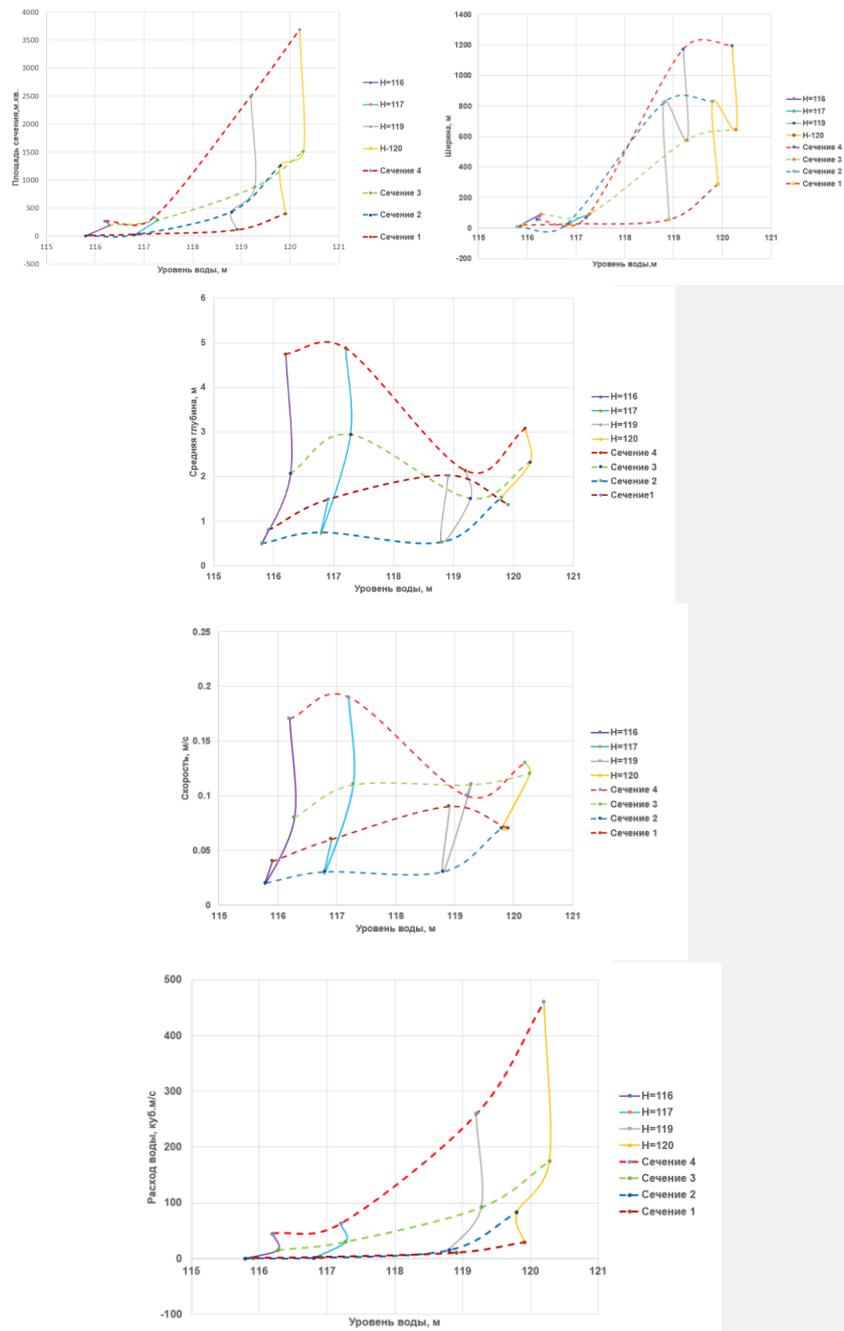


Рис. 5. Изменение гидрологических характеристик

Из рисунка 5 видно, что все рассмотренные гидрологические характеристики имеют наибольшие значения в 4 сечении, а также наибольшую амплитуду их изменения в зависимости от уровня воды. Это объясняется наибольшими габаритами как самого русла в этом сечении, так и наличием правобережной и левобережной поймы.

Сечения 1 и 2 узкие, но первое более глубокое. В первом сечении наименьшие значения площади, ширины и расхода почти при всех уровнях воды и минимальная амплитуда их изменения. Характер изменения средней глубины и скорости течения похожи, а их значения больше, чем во втором узком и менее глубоком сечении. То есть при одинаковом расходе воды в первом и втором сечениях, уровень воды во втором сечении будет значительно выше. Например, при расходе воды $20 \text{ м}^3/\text{с}$, подъем (подпор) уровня воды во втором сечении составит около 70 см. Это объясняется габаритными размерами более узкого и мелкого русла во втором сечении. Данный эффект на практике усугубляется за счет сильно заросшего водной растительностью русла, которая играет роль «плотины» и задерживает воду. Кроме того, ниже 2 сечения есть водоспускное сооружение – труба, через которую проходит вода реки и еще больше создает подпор.

Интересно изменение ширины участка: при низких уровнях ширина наименьшая в узких сечениях (1 и 2), а при высоких уровнях в третьем сечении ширина меньше, чем во втором. Это объясняется наличием на левом берегу жилого поселка и ограничением ширины поймы защитными сооружениями.

Скорости течения при высоких уровнях с выходом воды на пойму снижаются (также, как и средние глубины) и с повышением уровней воды они начинают возрастать.

Зависимость между гидрологическими характеристиками при примерно одинаковом уровне воды в разных сечениях, представлена данными корреляционного анализа (таблица 3), который показал, что меньшее влияние на скорость течения и расход воды оказывает ширина сечения (коэффициент корреляции от 0,666 до 0,69) и большее влияние оказывает глубина (коэффициент корреляции 0,999). Однако, все факторы имеют высокую степень влияния и с их увеличением скорость и расход также возрастают.

Таблица 3

Данные расчета корреляции

Параметр	Площадь, F (м. кв)	Ширина, B (м)	Ср. глубина, Hср(м)	Скорость, V(м/с)	Расход, Q(м.куб/с)
Площадь, F (м. кв)	1	–	–	–	–
Ширина, B (м)	0.897	1	–	–	–
Ср. глубина, Hср(м)	0.937	0.693	1	–	–
Скорость, V(м/с)	0.923	0.666	0.999	1	–
Расход, Q(м.куб/с)	0.939	0.692	0.989	0.988	1

Заключение

Анализ гидрологического режима участка реки Теша в районе г. Арзамас позволяет сделать следующие выводы:

1. При заданных обеспеченностях расходов выход воды на пойму в половодье происходит на всех морфостворах; в паводки – частично на вышерасположенных морфостворах (сечение 1, 2); на нижерасположенных морфостворах (сечение 3, 4) – не выходит; в меженный и зимний периоды при минимальных расходах река находится в пределах русла.

2. Уровни воды по расчетным морфостворам максимальны в половодье, ниже – в паводки и минимальны при наименьших годовых расходах.

3. Уровни воды на морфостворах в соответствии с кривыми расходов зависят от площадей живого сечения и средних скоростей течения. Наиболее изменчивым фактором является площадь живого сечения, зависящая от морфометрических характеристик самого русла и поймы, которая существенно меняется по величине как между створами, так и на конкретном створе в половодье, при паводке и в межень. Скорость течения менее изменчива по величине, чем площадь сечения. Отсюда, более значимым фактором, влияющим на положение уровня воды, является площадь сечения.

4. Динамика изменения площадей сечения и средних скоростей течения на створе в целом соответствует при сопоставимых условиях динамике изменения уровней воды. Некоторые коррективы могут вноситься морфометрическими характеристиками русла и поймы.

5. Сопоставление расчетных средних скоростей течения на морфостворах со средними скоростями ($0,03 \div 0,15$ м/с) в даты наблюдений на створах забора воды на гидропосту Арзамас показывает на их близкую сходимость.

6. Уровни воды по гидропосту Арзамас, предоставленные ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС» соответствуют значениям и входят в границы расчетных данных, что подтверждает достоверность выполненных расчетов. Максимальные уровни воды по данным ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС» за период действия гидропоста Арзамас составляют 119,19 мБС, а границы расчетных уровней половодья по морфостворам – $124,57 \div 118,78$ мБС.

В этой связи выполненная оценка гидрологического режима участка р. Тёша позволяет решить многие инженерные задачи, включая определение мест затопления территории, выбор мест отвала грунта, сроки функционирования этих мест в зависимости от того, когда и как они будут затапливаться в течение года.

Список литературы:

1. Лобанов В.А. Региональные модели определения характеристик максимального стока в зависимости от гидрографических факторов / В.А. Лобанов, В.Н. Никитин // Метеорология и гидрология. – № 11. – 2006. – С. 60–69.
2. Лобанов В.А. Определение расчетных гидрологических характеристик с учетом исторических максимумов / В.А. Лобанов, В.Е. Беликов // Метеорология и гидрология. – №2. – 2007. – С. 89–99.
3. Дубровская Л.И. Особенности гидрологического режима малых рек Обь-Томского междуречья / Л.И. Дубровская, Н.А. Ермашова // Вестник Томского государственного университета. – 2001. – №274. – С. 101–103.
4. Бонгу Э.С. Сценарная оценка гидрологического режима рек Бенина / Э.С. Бонгу // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2016. – Т. 2, №1. – С. 1–5.
5. Самохин М.А. Генетические особенности формирования уровня режима рек в различных регионах России : Дис. на соискание ученой степени канд. геогр. наук : 25.00.27 / М.А. Самохин ; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Москва, 2006. – 113с.
6. Булавина А.С. Общие особенности гидрологического режима рек западной части бассейна Белого моря / А.С. Булавина // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – №12 (114). – Курск, Издательство: Редакция Журнала научных публикаций аспирантов и докторантов. – 2015. – С. 134–137.
7. Shengzhi Huang Calculation of the Instream Ecological Flow of the Wei River Based on Hydrological Variation / Shengzhi Huang, Jianxia Chang, Qiang Huang, Yimin Wang, Yutong Chen // Modeling of Water Quality, Quantity, and Sustainability – 2014.
8. СП 33–101–2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Одобрен постановлением Госстроя России № 218 от 26.12.2003. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. – 108 с.
9. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. Под.общим рук. А.В. Рождественского. – СПб: ГУ «ГГИ», 2009. – 193с.
10. Anna Maria De Girolamo Assessing flow regime alterations in a temporary river – the River Celone case study / Anna Maria De Girolamo, Antonio Lo Porto1, Giuseppe Pappagallo1, Francesc Gallat // J. Hydrol. Hydromech – 2015. – Vol.18(3) – Pp. 263–272.

11. Ситнов А.Н. Обоснование параметров обеспеченности водохозяйственных балансов и режима работы водохранилища Нижегородского низконапорного гидроузла / А.Н. Ситнов, Н.В. Кочкурова, Д.А. Мильцын // Вестник ВГАВТ. – Вып.50. – Н. Новгород, Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2017. – С. 23–31.
12. Лобанов В.А. Расчеты речного стока в неоднородных и нестационарных условиях : Дис. на соискание ученой степени докт. техн. наук : 11.00.07 / В. А. Лобанов ; Российский государственный гидрометеорологический университет. – Санкт-Петербург, 1998. – 357с.
13. Laxmi Prasad Devkota Impacts of climate change on hydrological regime and water resources management of the Koshi River Basin, Nepal / Laxmi Prasad Devkota, Dhiraj Raj Gyawali // Journal of Hydrology: Regional Studies. – 2015. – Vol.4 – Pp. 502–515.
14. M.Schoor, J. Dijkstra, H. Middelkoop, D. Babich, M. Samokhin, S. Moreydo. Morphological change and vegetation succession on a point bar of the Lower Volga //Proceedings NCR-days 2002. Current themes in Duch river research. Utrecht. 2003.
15. Dalian Ligong Ecological water demand calculation of main stream of Hunhe River based on change characteristics of hydrological factors / Dalian Ligong, Daxue Xuebao // Journal of Dalian University of Technology –2014. – Vol. 54 – Pp. 215–221.
16. Технический отчет по инженерно-гидрометеорологическим изысканиям на объекте: Расчистка русла р. Теша в Арзамасском районе Нижегородской области. ИГИ 20-06/19 – Н. Новгород, ООО «ВЛИМ Строй», 2019.
17. Сабурцев А.А. Комплексная экологическая характеристика малых рек агропромышленной территории: На примере бассейна р. Тёши : Дис. на соискание ученой степени канд. биол. наук: 03.00.16 / А.А. Сабурцев; Арзамасский государственный педагогический институт им. А.П. Гайдара. – Н. Новгород, 2003. – 145с.
18. Yang Liu Assessment of hydrologic regime considering the distribution of hydrologic parameters / Yang Liu, Shengle Cao, Yang Yuheng, Xi Zhang // Water Science & Technology Water Supply – 2017. – Vol.18(3).
19. Hongbo Zhang Changes in the long-term hydrological regimes and the impacts of human activities in the main Wei River, China / Hongbo Zhang, Qiang Huang, Qiang Zhang, Lei Gu, Keyu Chen, Qijun Yu // Hydrological Sciences Journal – 2016. – Vol. 51 – Pp. 1054–1068.
20. Fiala R. Changes in a river's regime of a watercourse after a small water reservoir construction / Fiala R., Podhrázská J., Konečná J., Kučera J., Karásek P., Zahradníček P., Štěpánek P. // Soil & Water Res. – 2020. – Vol. 15. – Pp. 55–65.
21. Dutta, V. Assessment of human-induced impacts on hydrological regime of Gomti river basin, India / Dutta, V., Kumar, R. and Sharma, U. // Management of Environmental Quality – 2015. – Vol. 26, No. 5. – Pp. 631–649.
22. Shakirzanova, Z.R., Method of forecasting assessment of the maximum runoff characteristics of the Dniro Basin's rivers in spring season / Shakirzanova, Z.R., Boyko V.M., Goptsiy, M.V., Todorova E. I., Dokus A. A., Serbova, Z.F., & Shvets, N.N. // Ukrainian Hydrometeorological Journal. – 2018. – Vol. 22. – Pp. 80–99.

THE RIVER TESHA HYDROLOGICAL REGIME ASSESSMENT IN THE ARZAMAS TOWN AREA WHEN JUSTIFYING PROJECT DECISIONS

Alexander N. Sitnov

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Natalia V. Kochkurova

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article gives an assessment of the hydrological regime on the River Tesha sector. The assessment was obtained during the pre-project study of the object and allows making project decisions on clearing the riverbed. The River Tesha Basin has been well studied in the past. However, there was no data based on long-term observation of the river's hydrological regime parameters in the area under consideration; hence, the authors performed calculations for data recovery by interpolation between existing hydrological posts, as well as for obtaining their representative series and determining their hydrological characteristics. Correlation between changes in flow rates and water levels in the river was found, as well as between the

riverbed morphological parameters (depth, width, cross-section area) and its hydraulic characteristics (flow rate, flow rates). The completed assessment of the hydrological regime makes it possible to forecast river flooding at high water levels as well as flooding of the surrounding area, and to make project decisions thereafter, including the identification of flooding areas, the dump sites choice, these sites functioning period that depends on when and for how long they will be flooded during the year.

Keywords: *the river hydrological regime hydropost, water flow rate, water level, average depth, flow rate, long-term observation, high water, flood, riverbed, floodplain.*

References:

1. Lobanov V.A. Regionalnie modeli opredeleniya karakteristik maksimalnogo stoka v zavisimosti ot gidrograficheskikh faktorov / V.A. Lobanov, V.N. Nikitin // Meteorologiya i gidrologiya. – № 11. – 2006. – S. 60–69.
2. Lobanov V.A. Opredelenie raschetnih gidrologicheskikh karakteristik s uchetom istoricheskikh maksimumov / V.A. Lobanov, V.E. Belikov // Meteorologiya i gidrologiya. – №2. – 2007. – S. 89–99.
3. Dubrovskaya L.I. Osobennosti gidrologicheskogo regima malih rek Ob-Tomskogo mejdurechya / L. I. Dubrovskaya, N.A. Ermashova // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2001. – №274. – S. 101–103.
4. Bongu E.S. Schenarnaya ocenka gidrologicheskogo regima rek Benina / E. S. Bongu // Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii. – 2016. – T.2, №1. – S. 1–5.
5. Samohin M. A. Geneticheskie osobennosti formirovaniya urovnennogo regima rek v razlichnih regionah Rossii : Dis. na soiskanie uchenoi stepeni kand. geogr. nauk : 25.00.27 / M. A. Samohin ; mosk. gos. un-t im. M. V. Lomonosova. – Moskva, 2006. – 113s.
6. Bulavina A. S. Obshie osobennosti gidrologicheskogo regima rek zapadnoi chasti basseina Belogo morya / A.S. Bulavina // Jurnal nauchnih publikacii aspirantov i doktorantov. – №12 (114). – Kursk, Izdatelstvo: Redakciya Jurnal nauchnih publikacii aspirantov i doktorantov. – 2015. – S.134–137.
7. Shengzhi Huang Calculation of the Instream Ecological Flow of the Wei River Based on Hydrological Variation / Shengzhi Huang, Jianxia Chang, Qiang Huang, Yimin Wang, Yutong Chen // Modeling of Water Quality, Quantity, and Sustainability – 2014.
8. SP 33–101–2003. Opredelenie osnovnih raschetnih gidrologicheskikh karakteristik. Odobren postanovleniem Gosstroya Rossii № 218 ot 26.12.2003. – M.: Gosstroj Rossii, FGUP CPP, 2004. – 108 s.
9. Metodicheskie rekomendacii po opredeleniu raschetnih gidrologicheskikh karakteristik pri otsutstvii danih gidrometricheskikh nabludenii. Pod obshim ruk. A. V. Rojdestvenskogo. – SPb: GU «GGI», 2009. – 193s.
10. Anna Maria De Girolamo Assessing flow regime alterations in a temporary river – the River Celone case study / Anna Maria De Girolamo, Antonio Lo Porto1, Giuseppe Pappagallo1, Francesco Gallati // J. Hydrol. Hydromech – 2015. – Vol.18(3) – Pp. 263–272.
11. Sitnov A. N. Obosnovanie parametrov obespechennosti vodohozyaistvennih balansov i regima roboti vodohranilisha Nizhegorodskogo nizkonapornogo gidrouzla / A.N. Sitnov, N.V. Kochkurova, D.A. Milcin // Vestnik VGAVT. – Vip.50. – N. Novgorod, Izd-vo FGBOU VO «VGUVT». – 2017. – S. 23–31.
12. Lobanov V.A. Rascheti rechnogo stoka v neodnorodnih i nestacionarnix usloviyah : Dis. na soiskanie uchenoi stepeni dokt.tehn.nauk : 11.00.07 / V.A. Lobanov ; Rossiiskii gosudarstvennii gidrometeorologicheskii universitet. – Sankt-Peterburg, 1998. – 357s.
13. Laxmi Prasad Devkota Impacts of climate change on hydrological regime and water resources management of the Koshi River Basin, Nepal / Laxmi Prasad Devkota, Dhiraj Raj Gyawali // Journal of Hydrology: Regional Studies. – 2015. – Vol.4 – Pp. 502–515.
14. M.Schoor, J. Dijkstra, H. Middelkoop, D. Babich, M. Samokhin, S. Moreydo. Morphological change and vegetation succession on a point bar of the Lower Volga // Proceedings NCR-days 2002. Current themes in Dutch river research. Utrecht. 2003.
15. Dalian Ligong Ecological water demand calculation of main stream of Hunhe River based on change characteristics of hydrological factors / Dalian Ligong, Daxue Xuebao // Journal of Dalian University of Technology – 2014. – Vol. 54 – Pp. 215–221.
16. Tehnicheskii otchet po inzhenerno-gidrometeorologicheskim iziskaniyam na: Raschistka rusla r. Teshi v Arzamasskom raione Nizhegorodskoi oblasti. IGI 20-06/19 – N. Novgorod, OOO «VLM Stroji», 2019.
17. Saburcev A. A. Kompleksnaya ekologicheskaya karakteristika malih rek agropromishlennoi territorii: Na primere basseina reki Teshi : Dis. na soiskanie uchenoi stepeni kand. biol. nauk : 03.00.16 / A.

- A. Saburcev ; Arzamasskii gosudarstvennii pedagogicheskii institut im. P. Gaidara. – N. Novgorod, 2003. – 145s.
18. Yang Liu Assessment of hydrologic regime considering the distribution of hydrologic parameters / Yang Liu, Shengle Cao, Yang Yuheng, Xi Zhang // *Water Science & Technology Water Supply* – 2017. – Vol. 18(3).
19. Hongbo Zhang Changes in the long-term hydrological regimes and the impacts of human activities in the main Wei River, China / Hongbo Zhang, Qiang Huang, Qiang Zhang, Lei Gu, Keyu Chen, Qijun Yu // *Hydrological Sciences Journal* – 2016. – Vol. 51 – Pp. 1054–1068.
20. Fiala R. Changes in a river's regime of a watercourse after a small water reservoir construction / Fiala R., Podhrázská J., Konečná J., Kučera J., Karásek P., Zahradníček P., Štěpánek P. // *Soil & Water Res.* – 2020. – Vol. 15. – Pp. 55–65.
21. Dutta, V. Assessment of human-induced impacts on hydrological regime of Gomti river basin, India / Dutta, V., Kumar, R. and Sharma, U. // *Management of Environmental Quality* – 2015. – Vol. 26, No. 5. – Pp. 631–649.
22. Shakirzanova, Z. R., Method of forecasting assessment of the maximum runoff characteristics of the Dnipro Basin's rivers in spring season / Shakirzanova, Z. R., Boyko V. M., Goptsiy, M. V., Todorova E. I., Dokus A. A., Serbova, Z. F., & Shvets, N. N. // *Ukrainian Hydrometeorological Journal*. – 2018. – Vol. 22. – Pp. 80–99.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ситнов Александр Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой водных путей и гидротехнических сооружений, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5
e-mail: stnv1952@rambler.ru

Кочкурова Наталия Викторовна, к.т.н., доцент, доцент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5
e-mail: kochkurovanataly@yandex.ru

Alexander N. Sitnov, doctor in Engineering Science, head of the Department of waterways and hydraulic structures, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, Russia

Natalia V. Kochkurova, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of waterways and hydraulic structures, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, Russia

Статья поступила в редакцию 14.05.2020 г.

Раздел II

**Судостроение, судоремонт
и экологическая безопасность судна**



Section II

***Shipbuilding, ship repair,
and ecological safety of the ship***

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ МНОГОСЛОЙНОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

М. Алсаид

Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия

А. Саламех

Каспийский институт морского и речного транспорта, г. Астрахань, Россия

Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия

В.А. Мамонтов

Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия

Г.У. Азизова

Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия

Аннотация. В данной статье рассматриваются механические свойства полимерных композитных материалов, применяемых в судостроении. С этой целью были изготовлены образцы из полимерных композитных материалов на основе стеклянных волокон и полиэфирной смолы. Объясняется методика изготовления образцов из полимерных композитных материалов для проведения механических испытаний. Методом механических испытаний определено влияние соотношения количества слоев ровинговой стеклоткани к количеству слоев стекломата при испытаниях образцов на растяжение, сжатие и трехточечный изгиб. В результате обработки данных, полученных в ходе исследования, установлено, что увеличение количества слоев ровинговой стеклоткани в составе полимерных композитных материалов увеличивает разрушающую нагрузку и предел прочности при растяжении и уменьшает данные значения при сжатии и трехточечном изгибе. Результаты, полученные в данной работе, являются основанием для определения механических свойств полимерных композитных материалов с разными схемами армирования при условии их применения в судовых конструкциях, в частности, как материал для судовых надстроек транспортных судов.

Ключевые слова: судостроение, полимерные композиционные материалы, стеклянные волокна, механические свойства, испытание на растяжение, испытание на сжатие, испытание на изгиб, предел прочности, стекломат, смола.

Введение

Полимерные композитные материалы (ПКМ) в современной технике являются серьёзным конкурентом традиционным материалам, используемых в разных областях промышленности на протяжении многих лет, в частности, стали и алюминию. Этот фактор объясняется собственными характеристиками ПКМ, поскольку они имеют высокую прочность и малый удельный вес, и в результате их применения масса конструкции уменьшается, что приводит к экономии расхода топлива транспортных средств. Также затраты на техническое обслуживание конструкции из ПКМ гораздо меньше, чем для конструкции из традиционных материалов, что компенсирует высокую стоимость технологии изготовления и себестоимость самых композитных материалов [1].

В связи с накопленным опытом применения ПКМ как в надводном, так и в подводном судостроении, в 2018 г. была переиздана новая редакция правил Российского морского регистра судоходства (РМРС) под новым названием «Конструкция и прочность судов из полимерных композиционных материалов», что свидетельствует о расширении роли данных материалов в будущем судостроении России [2].

Главным отличием ПКМ от традиционных материалов является их неоднородная структура, в которую входят два или более разных компонентов (армирующие элементы и смола), что приводит к тому, что на их механические свойства оказывают влияние множество факторов, основными из них являются:

- количество слоев армирующих элементов (наполнителей);
- механические свойства и химические характеристики используемых компонентов;
- метод изготовления и его параметры (температура и давление);
- ориентация волокон армирующих элементов относительно оси действия нагрузок;
- схема армирования и порядок укладки слоев армирующих элементов.

В работе [3] было исследовано влияние количества слоев армирующих элементов на предел прочности ПКМ при растяжении и установлено, что увеличение количества слоев приводит к увеличению разрушающих нагрузок; при этом предел прочности снижается за счет увеличения площади сечения. При исследовании свойства ПКМ на основе разных армирующих элементов было доказано, что предел прочности при растяжении ПКМ с углеродными наполнителями превосходит на 30% предел прочности ПКМ на основе гибридных наполнителей (углеродные +стеклянные) и на 37% - предел прочности ПКМ со стеклянными наполнителями [4]. Результаты работы [5] подтверждают, что ПКМ, содержащие армирующие материалы с углом ориентации волокон 35° имеют лучшие механические свойства при растяжении и изгибе. На основании исследований, проведенных в работах [6], [7] установлено, что от метода изготовления ПКМ со стеклянными волокнами (контактное формование, напыление, прессование и вакуумное инфузия) сильно зависят их механические свойства при испытании на растяжение, срез, изгиб, сжатие и ударную вязкость. Исследование [8] количественным образом доказывает, что предел прочности при растяжении образцов, изготовленных с применением технологии вакуумной инфузии в 3 раза больше, чем предела прочности образцов, изготовленных ручной формовкой.

Целью исследования в данной работе является изучение влияния схемы армирования ПКМ на их механические свойства при растяжении, сжатии и изгибе. Объектом исследования служат образцы ПКМ на основе стеклянных волокон и полиэфирной смолы, изготовленных с разными схемами армирования.

1. Материалы и методы изготовления образцов для проведения испытаний

Новая редакция РМРС рассматривает применение в судовых конструкциях стеклянных, углеродных и арамидных волокон в качестве армирующих элементов, а полиэфирную, эпоксидную и винилэфирную смолы в качестве связующих для изготовления композитных материалов. С целью изучения влияния схемы армирования на механические свойства, а именно на пределы прочности ПКМ при растяжении, сжатии и изгибе были изготовлены 4 партии пластин (А, В, С, D), в состав которых входят следующие компоненты:

1. стекломат марки ЕМС-600-1250-Е;
2. терморезистивная ортофталевая полиэфирная смола «Яркопол-110»;
3. ровинговая стеклоткань (Рогожа) марки EWR 560. Основные характеристики выбранных компонентов приведены в Таблице 1 [9–11].

Пластины, изготовлены методом контактного формования с ручной укладкой и имеют квадратную форму с размерами сторон 600 мм. Каждая пластина содержит 6 слоев армирующих элементов и отличается от других пластин отношением количества слоев ровинговой стеклоткани к количеству слоев стекломата. Схема армирования и структура изготовленных пластин показаны на рис. 1 и в таблице 2. Для исключения влияния других факторов на результаты испытаний были приняты следующие закономерности [12]:

М. Алсаид, А. Саламех, В.А. Мамонтов, Г.У. Азизова

Сравнительный анализ результатов механических испытаний многослойного полимерного ...

– в каждый слой армирующего элемента добавлено 400 см³ полиэфирной смолы (по требованию технических нормативов материала);

Таблица 1

Физико-механические свойства выбранных компонентов

EMC-600-1250-E		Яркопол-110		EWR 560	
Характеристика	Значение	Характеристика	Значение	Характеристика	Значение
Поверхностная масса, г/м ²	600 ± 7,5	Плотность, при t = 23 °С, г/см ³	1,13–1,14	Поверхностная масса, г/м ²	560
Содержание связующего, %	3,5 ± 1,1	Изгибающее напряжение при разрушении, МПа	70–100	Содержание влаги, %	≤ 0,15
Прочность на разрыв, Н	≥ 160	Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	90–140	Содержание замасливателя, %	0,6 ± 0,2
Удельная разрывная нагрузка по вертикали, Н/мм	60	Относительное удлинение при разрыве, %	3–5	Разрывная нагрузка по вертикали, Н	2800
Удельная разрывная нагрузка по горизонтали, Н/мм	60	Прочность при разрыве, МПа	45–65	Разрывная нагрузка по горизонтали, Н	2800

– отверждение пластин обеспечивается использованием отвердителя марки «Бутонокс М-50» (Butanox M-50) с дозой 1 см³ для 100 см³ смолы для всех пластин;

– условия кондиционирования одинаковы для всех пластин – не менее 16 часов при температуре 23±2°С и относительной влажности 50±5%.

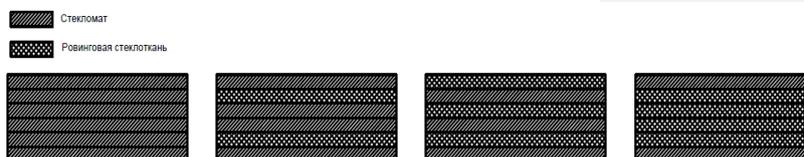


Рис. 1. Схема армирования изготовленных пластин

Таблица 2

Структура армирования изготовленных пластин

Пластина	Общее количество слоёв	Количество слоёв Ровинговой стеклоткани	Количество слоёв Стекломата	Количество ровинговой стеклоткани / количество стекломата
A	6	-	6	0
B	6	2	4	1/2
C	6	3	3	1/1
D	6	4	2	2/1

После оформления пластин необходимо их оставить для высыхания на 48 часов при температуре окружающей среды, и лишь затем происходит процесс их отрезки для получения образцов с размерами в соответствии с видом запланированного испытания с помощью ленточной пилы со скоростью резки не менее 9,5 м/мин, согласно

ГОСТу 33345-2015 [13]. Все механические испытания образцов на растяжение, сжатие и изгиб были проведены на универсальной испытательной машине типа Р-5 с различными приспособлениями.

2. Результаты испытаний образцов на растяжение

Объектом исследования для определения влияния схемы армирования ПКМ на предел прочности при растяжении являются плоские образцы без головок длиной 250 мм и шириной 25 ± 1 мм (рис.2), согласно ГОСТу 11262-2017[14].

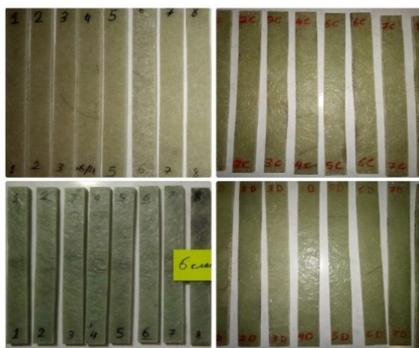


Рис. 2. Образцы для проведения испытаний на растяжение

Испытуемый образец закрепляется между захватами машины Р-5 и нагружается вдоль его оси растягивающей нагрузкой F при фиксированной скорости перемещения захватов ($V=5$ мм/мин) (рис. 3)



Рис. 3. Закрепление образцы в машине при испытании на растяжение

В ходе испытаний определяется разрушающая нагрузка F_{max} , при которой происходит разрыв образцов и на основе ее определяется предел прочности на растяжение σ формулой:

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} \quad (1)$$

где F_{\max} – разрушающая нагрузка, Н;

$A = b \cdot h$ – площадь поперечного сечения образца, мм².

Для каждой партии были испытаны 8 образцов, результаты которых приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты испытаний образцов на растяжение

Номер образца	Партия							
	А		В		С		D	
	F_{\max} , кгс	σ , МПа						
1	2530	134	2350	139	2450	140	2590	141
2	2250	119	2350	136	2410	132	2470	146
3	2160	116	2450	141	2520	167	2870	157
4	2230	119	2340	134	2540	139	2900	153
5	2020	108	2360	140	2550	138	2920	153
6	2100	106	2360	132	2740	154	2960	164
7	2260	120	2350	136	2740	139	3000	158
8	2190	123	2350	142	2780	147	3050	155
Средние значения	2218	118	2364	138	2591	144	2845	153

Представленный сравнительный анализ средних значений разрушающих нагрузок партий образцов (А, В, С, D) на рис. 4 показывает, что с увеличением количества слоев роговиной стеклоткани относительно количества стекломата разрушающая нагрузка ПКМ растет на 6,58–9,8%. Также предел прочности ПКМ увеличивается с повышением количества слоев роговиной стеклоткани на 4,3–16,9% (рис. 5).

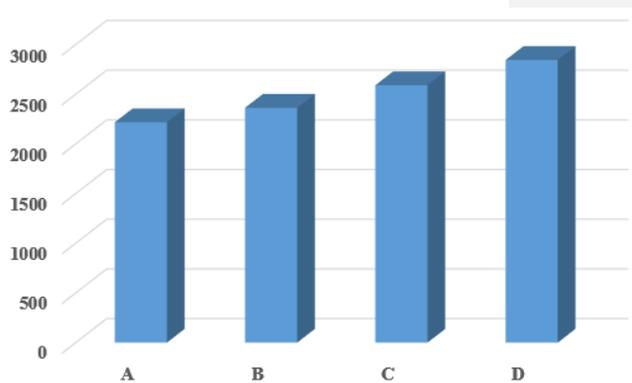


Рис. 4. Сравнение средних значений разрушающих нагрузок образцов при испытании на растяжение

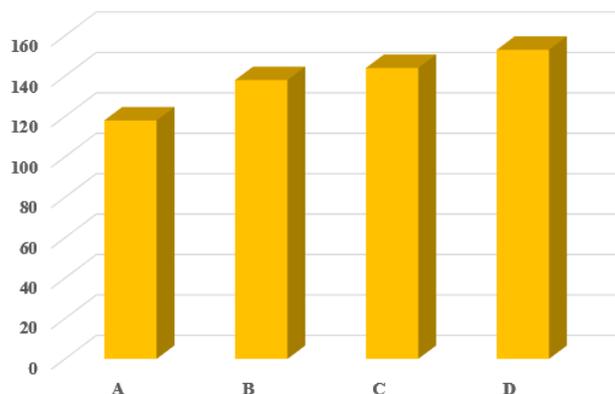


Рис. 5. Сравнение средних значений пределов прочности образцов при испытании на растяжение

3. Результаты испытаний образцов на сжатие

Образцы для испытания с целью определения влияния схемы армирования ПКМ с разным соотношением количества слоев роговиной стеклоткани к количеству стекломата на предел прочности при сжатии были отрезаны из изготовленных ранее пластин в виде квадратной формы с размерами 10×10 мм (с отклонением ±0,2 мм), согласно (рис.6) ГОСТу 4651-2014 [15].



Рис. 6. Образцы для проведения испытаний на сжатие

Изготовленный образец помещают между опорными площадками так, чтобы его центральная вертикальная ось совпадала с центральной осью поверхностей опорных площадок, при этом необходимо обеспечить, чтобы торцы образца были параллельны поверхностям опорных площадок. В ходе испытаний на сжатие поверхности торцов образца могут скользить по опорным площадкам в разной степени, в зависимости от структуры поверхности образца и опорных площадок, поэтому между поверхностями образца и опоры машины размещают тонкую наждачную бумагу (рис. 7). На машине Р-5 образец нагружается силой сжатия перпендикулярно плоскости укладки слоев с помощью дополнительных опор при фиксированной скорости нагружения 1 мм/мин. Предел прочности ПКМ на сжатии определяется формулой (1) после определения значений разрушающих нагрузок в ходе испытаний образцов. В таблице 4 приведены результаты испытаний образцов на сжатие.



Рис. 7. Испытание образцы в машине на сжатие

Таблица 4

Результаты испытаний образцов на сжатие

Номер образца	Партия							
	А		В		С		D	
	F_{max} , кгс	σ , МПа						
1	1320	166	1145	161	600	87	530	79
2	1140	147	1010	142	610	90	570	84
3	1310	167	1080	149	620	89	570	80
4	1390	181	1090	155	650	93	570	83
5	1450	183	1220	173	750	107	590	89
6	1740	220	1050	155	760	108	660	97
7	1440	182	1100	160	830	119	740	99
8	1370	178	1070	153	850	120	760	107
Средние значения	1395	178	1096	156	709	102	624	90

Сравнение средних значений разрушающих нагрузок образцов (рис. 9) подтверждает, что повышение отношения количества слоев роговиной стеклоткани к количеству стекломата, приводит к снижению разрушающей нагрузки на 11,9–35,3% при сжатии. Этот факт, следовательно, ведет к уменьшению предела прочности ПКМ при сжатии на 11,76–34,6% для образцов, с увеличенным количеством слоев роговиной стеклоткани в структуре пластин (рис. 10).

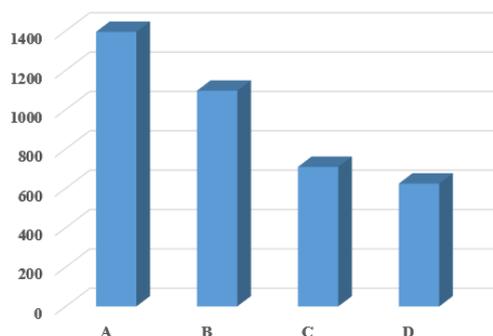


Рис. 8. Сравнение средних значений разрушающих нагрузок образцов при испытании на сжатие

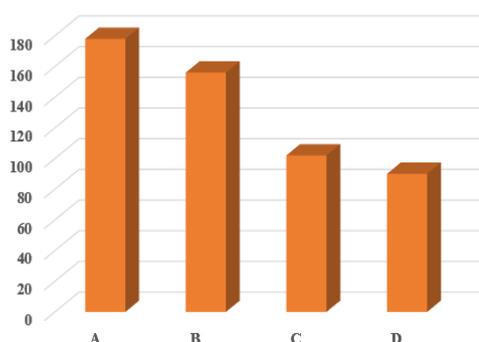


Рис. 10. Сравнение средних значений пределов прочности образцов при испытании на сжатие

4. Результаты испытаний образцов на трехточечный изгиб

Для проведения испытаний на изгиб были изготовлены образцы с прямоугольной формой длиной 200 ± 2 мм и шириной $20 \pm 0,2$ мм (рис. 11) согласно ГОСТу 4648-2014 и правилам РМРС [2]. Испытуемый образец, свободно лежащий на двух опорах, подвергают изгибу с постоянной скоростью в середине между опорами до его разрушения. В результате испытания определяют разрушающую нагрузку F_{max} , прилагаемую к образцу (рис. 12). Скорость нагружения принимается 10 мм/мин поскольку ПКМ относятся к материалам, которые разрушаются, не показывая четко выраженного значения изгибающего напряжения при максимальной нагрузке. Предел прочности ПКМ при изгибе определяется по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{3F_{max} \cdot L}{2b \cdot h^2} \quad (2)$$

где L – расстояние между опорами, мм;
 b – ширина образца, мм;
 h – толщина образца, мм.

расстояние между опорами определяется по формуле:

$$L = (16 \mp 1)h \quad (3)$$



Рис. 11. Образцы для проведения испытаний на изгиб



Рис. 12. Испытание образцы ПКМ в машине на изгиб

Результаты испытаний образцов ПКМ с разной схемой армирования при трёхточечном изгибе приведены в таблице 5.

Таблица 5

Результаты испытаний образцов на изгиб

Номер образца	Партия							
	А		В		С		D	
	F_{max} , кгс	σ , МПа						
1	205	260	135	231	100	183	80	154
2	210	250	135	233	105	201	75	146
3	210	239	125	225	100	201	75	142
4	195	237	130	219	135	239	80	155
5	220	264	130	221	125	201	80	152
6	220	269	130	237	120	199	85	160
7	220	273	140	233	135	237	85	166
8	230	264	150	237	130	224	90	169
Средние значения	214	257	134	229	119	211	81	156

Сравнение результатов испытаний ПКМ при трёхточечном изгибе показывает, что увеличение количества слоев роговиной стеклоткани отрицательно влияет на значения разрушающей нагрузки и на предел прочности при изгибе, при этом разрушающая нагрузка уменьшается на 11,19–37,38%, а предел прочности – на 7,86–26,06%.

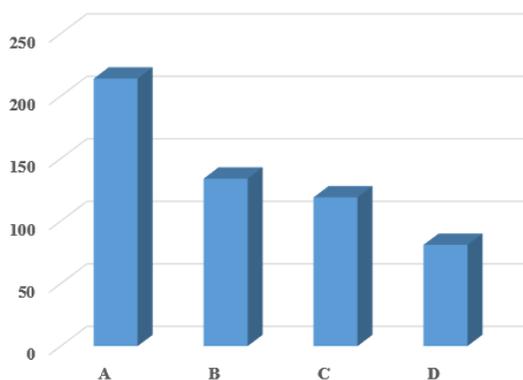


Рис. 13. Сравнение средних значений разрушающих нагрузок образцов при испытании на изгиб

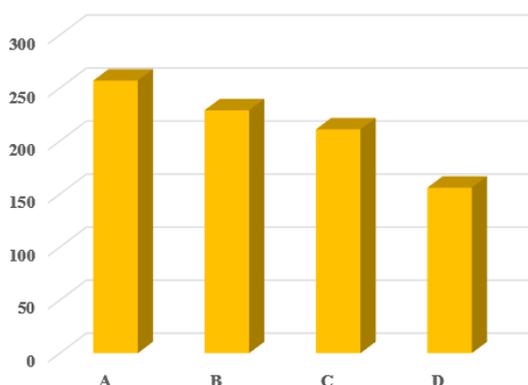


Рис. 14. Сравнение средних значений пределов прочности образцов при испытании на изгиб

Заключение

В данной работе были проведены механические испытания образцов из ПКМ с разной схемой армирования, т.е. с разным соотношением количества слоев роговиной стеклоткани марки EWR 560 к количеству слоев стекломата марки EMC-600-1250-E. Исходя из результатов испытаний, можно сделать вывод о том, что увеличение количества слоев роговиной стеклоткани в составе ПКМ увеличивает разрушающую нагрузку и предел прочности при растяжении, но уменьшает данные значения при сжатии и при трёхточечном изгибе.

Список литературы:

1. Tawfik B. Weight reduction and strengthening of marine hatch covers by using composite materials/B. Tawfik, H. Leheta, A. Elhewy, T. Elsayed// International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. 2017. Vol. 9. Is. 2. Pp. 185-198. DOI: 10.1016/j.ijnaoe.2016.09.005.
2. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XVI. Конструкция и прочность корпусов судов из полимерных композиционных материалов. – СПб: Российский морской регистр судоходства, 2018, 151с.
3. Алсаид Мазен. Исследование прочностных характеристик полимерных композиционных материалов при растяжении/М.Алсаид, А. Саламех// Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 45. Т. 3. – С. 18–27.
4. Belgacema L. Experimental investigation of notch effect and ply number on mechanical behavior of interply hybrid laminates (glass/carbon/epoxy) / L. Belgacema, D. Ouinas, J. A. V. Olay, A. A. Amado// Composites Part B. – 2018. – Vol. 145. – Pp. 189 – 196. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.03.026.
5. Rahmani H. Mechanical Properties of Carbon Fiber/Epoxy Composites: Effects of Number of Plies, Fiber Contents, and Angle-Ply Layers/ H. Rahmani, S. Saffarzadeh-Matin, S. H. M. Najafi, A. Ashori// Journal of Reinforced Plastics and Composites. – 2014. – Vol.33(8). Pp.733 – 740. DOI: 10.1002/pen.23820.
6. Карпов, Я.С. Композиционные материалы: компоненты, структура, переработка в изделия / Я.С. Карпов, О.В. Ивановская. – Харьков: Национальный аэрокосмический ун-т, 2001. – 153с.
7. Лахтин, Ю.М. Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. М.: Машиностроение, 1990. – 527с.
8. Максим. И.М. Технология формирования корпуса судна из листового композиционного материала/ И.М. Максим, А.Р. Рубан // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 1 (39). – С. 71 – 76.
9. Glass Emulsion Chopped Strand Mat. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://en.jushi.com/uploads/soft/jushiEN%20Products/EGlass%20Emulsion%20Chopped%20Strand%20MatE02.pdf> (дата обращения: 11.02.2019).
10. Характеристики смолы «Яркопол-110». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://megaplast.org/images/pdf/Yarkopol_110.pdf (дата обращения: 11.02.2019)
11. Ровинговая стеклоткань марки EWR 560. ЕЗИМ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.e-zim.ru/products/rovingovaya-tkan/> (дата обращения: 10.02.2019).
12. Алсаид Мазен. Методика изготовления образцов из многослойных композиционных материалов для исследования их механических свойств / М.Алсаид, А. Саламех // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2018. – № 4. – с. 16–23.
13. ГОСТ 33345. Композиты полимерные. Производство пластин для изготовления образцов для испытаний. Общие технические требования. – М.: Стандартинформ, 2015. – 24 с.
14. ГОСТ 11262. Пластмассы. Метод испытания на растяжение. – М.: Стандартинформ, 2018. – 24 с.
15. ГОСТ 4648. Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб. – М.: Стандартинформ, 2015. – 34 с.

THE RESULTS OF MULTI-LAYERED POLYMER COMPOSITE MATERIAL MECHANICAL TESTING COMPARATIVE ANALYSIS

Mazen Alsaïd

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Ali Salamekh

Caspian Institute of Sea and River Transport

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Viktor A. Mamontov

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Gyulaga Y. Azizova

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Abstract. The mechanical properties of polymer composite materials used in shipbuilding are examined in this article. The samples from polymer composite materials based on glass fibers and polyester resin were made for this purpose. The manufacturing samples technique from

polymer composite materials for mechanical test operation is represented here. The influence of woven roving fabric layers number ratio to the number of glass-fiber mat layers under testing samples for expansion, compression and 3 point bending has been determined by mechanical tests method. As the data processing result obtained in the experiment course it has been determined that the number of woven roving fabric layers increase with polymer composite materials increases the breaking load and tensile ultimate strength and decreases these values under compression and 3 point bending. The results obtained in this article are the basis for identifying polymer composite materials mechanical properties with different reinforcement schemes in case of their application in ship structures such as a material for transport vessels superstructure.

Key words: *shipbuilding, polymer composite materials, glass fibers, mechanical properties, tensile test, compression test, bending test, tensile strength, glass mat, resin.*

References:

1. Tawfik, B., H. Leheta, A. Elhewy, and T. Elsayed. «Weight reduction and strengthening of marine hatch covers by using composite materials.» International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering 9.2 (2017): 185–198. DOI: 10.1016/j.ijnaoe.2016.09.005.
2. Правила классификации и постройки морских судов. Част' XVI. Конструкція і проchnost' корпусов судов із полімерних композитних матеріалів. – SPb: Rossiiskii morskoi registr sudokhodstva, 2018, 151s.
3. Alsaid M., A. Salamekh «Issledovanie prochnostnykh kharakteristik polimernykh kompozitsi-onnykh materialov pri rastyazhenii» (The research of the strength characteristics of polymeric composition materials under tension) Morskіe intellektual'nye tekhnologii. 45 (2019): 18–27.
4. Belgacema. L., D. Ouinas, J. A. V. Olay, and A. A. Amado. «Experimental investigation of notch effect and ply number on mechanical behavior of interply hybrid laminates (glass/carbon/epoxy)» Composites Part B 145 (2018): 189 – 196. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.03.026.
5. Rahmani, H., S. Safarzadeh-Matin, S. H. M. Najafi, and A. Ashori. «Mechanical Properties of Carbon Fiber/Epoxy Composites: Effects of Number of Plies, Fiber Contents, and Angle-Ply Layers.» Journal of Reinforced Plastics and Composites 33.8 (2014): 733 – 740. DOI: 10.1002/pen.23820.
6. Karpov, YA. S, and O.V. Ivanovskaya. Kompozitsionnye materialy: komponenty, struktura, pere-rabotka v izdeliya. Khar'koV: Natsional'nyi aehrokosmicheskii un-T, 2001.
7. Lakhtin, YU.M. and V.P. Leont'eva. Materialovedenie. M.: MashinostroeniE, 1990.
8. Maltsev, I.M., and A. R. Ruban. «Technology of the hull formation from sheet composite material.» Morskіe intellektual'nye tekhnologii 1(39) (2018): 71-76.
9. Glass Emulsion Chopped Strand Mat. Web. 11 Feb. 2019. <<http://en.jushi.com/uploads/sof/jushiEN%20Products/EGlass%20Emulsion%20Chopped%20Strand%20MatE02.pdf>>
10. Kharakteristiki smoly «Yarkopol-110». Web. 11 Feb. 2019. <http://megaplast.org/images/pdf/Yarkopol_110.pdf>
11. Rovingovaya steklotkan' marki EWR 560. EZIM. Web. 10 Feb. 2019 <<https://www.e-zim.ru/products/rovingovaya-tkan/>>
12. Alsaid M., A. Salamekh «Metodika izgotovleniya obraztsov iz mnogosloinnykh kompozitsionnykh materialov dlya issledovaniya ikh mekhanicheskikh svoistv» (The method of samples manufacturing from multilayer composite materials to study their mechanical properties) Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 4 (2018) : 16-23.
13. GOST 33345. Kompozity polimernye. Proizvodstvo plastin dlya izgotovleniya obraztsov dlya ispytaniy. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. – M.: Standartinform, 2015. – 24 s.
14. GOST 11262. Plastmassy. Metod ispytaniya na rastyazhenie. – M.: Standartinform, 2018. – 24 s.
15. GOST 4648. Plastmassy. Metod ispytaniya na staticheskii izgib. – M.: Standartinform, 2015. – 34 s.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Алсаид Мазен аспирант, аспирант кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники», Астраханский

Mazen Alsaid, the postgraduate student of Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering

М. Алсаид, А. Саламех, В.А. Мамонтов, Г.У. Азизова

Сравнительный анализ результатов механических испытаний многослойного полимерного ...

государственный технический университет
(ФГБОУ ВО «АГТУ»),
414056, г. Астрахань, ул. Татищева 16,
e-mail: mazenal60@yahoo.com

Саламех Али, к.т.н., доцент, доцент кафедры
«Судомеханических дисциплин», Каспийский
институт морского и речного транспорта, фи-
лиал (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),
414000, г. Астрахань, ул. Никольская 6,
e-mail: a.salameh@mail.ru

Мамонтов Виктор Андреевич – д.т.н., про-
фессор, профессор кафедры «Судостроение и
энергетические комплексы морской техники»,
Астраханский государственный технический
университет (ФГБОУ ВО «АГТУ»),
414056, г. Астрахань, ул. Татищева 16,
e-mail: a.salameh@rambler.ru

Азизова Гюлага Уздановна – Старший пре-
подаватель кафедры «Судостроение и энерге-
тические комплексы морской техники», Аст-
раханский государственный технический уни-
верситет (ФГБОУ ВО «АГТУ»),
414056, г. Астрахань, ул. Татищева 16,
e-mail: gyulaga55@mail.ru

Astrakhan State Technical University,
16, Tatischev st, Astrakhan, 414056,

Ali Salamekh, Candidate of Technical Sci-
ences, Assistant Professor; Assistant Professor
Caspian Institute of Sea and River Transport,
6, Nikolskaya st, Astrakhan, 414000,

Viktor A. Mamontov – Doctor of Technical
Sciences, Professor; Professor Astrakhan
State Technical University,
16, Tatischev st, Astrakhan, 414056,

Gyulaga Y. Azizova – Senior Lecturer Astra-
khan State Technical University,
16, Tatischev st, Astrakhan, 414056,

Статья поступила в редакцию 15.04.2020 г.

УДК 519.876.5

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.74>

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВОЙ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ НА БАЗЕ СИГНАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА TMS320C5510

Т.В. Гордяскина

Волжский государственный университет водного транспорта,

г. Нижний Новгород, Россия

Л.С. Грошева

Волжский государственный университет водного транспорта,

г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Судовые радиотехнические средства, выполненные на современной цифровой базе, используются в качестве оборудования глобальной морской системы связи при бедствии (ГМССБ), систем управления движением транспортных средств и предупреждения их опасных сближений, радиолокационных и радионавигационных систем.

В работе приводится методика синтеза и исследования принципов функционирования объектов профессиональной деятельности специалистов по технической эксплуатации транспортного радиооборудования на примере радиотехнических приемо-передающих устройств (блоков оборудования ГМССБ) на базе цифрового сигнального процессора TMS320C5510. В процессе освоения методики студенты специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования», осваивают профессиональные компетенции, получают теоретические и практические навыки синтеза, технической диагностики и обслуживания судового радиотехнического оборудования.

Ключевые слова: судовые радиоэлектронные средства, радиотехнический канал связи, сигнальный процессор, цифровые приемо-передающие устройства.

Введение

Современное судно – сложный технический объект, оснащенный большим количеством радиотехнических средств, в том числе радиолокационных, радионавигационных, связанных систем и комплексов, обеспечивающих безопасность, регулярность и эффективность транспортных услуг.

Тенденции развития судоходства предполагают применение технологий безэкипажного судовождения, в том числе движение по курсу, выполнение маневров и швартовных операций с использованием радиоэлектронных средств автоматизации [1, 2, 3].

В соответствии с ФГОС 3+ специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» [4] и Правилами дипломирования моряков и несения вахты (ПДНВ) объектами профессиональной деятельности выпускников являются:

- радиолокационные, радионавигационные и связанные системы;
- системы и средства контроля и диагностики технического состояния эксплуатируемого оборудования;
- системы передачи информации о движении транспортных средств и внешних условиях эксплуатации;
- системы комплексной обработки, отображения и регистрации информации о движении транспортных средств и внешних условиях;
- системы управления движением транспортных средств и системы предупреждения их опасных сближений,
- оборудование ГМССБ.

В процессе обучения студентам, в соответствии с вышеперечисленными требованиями ФГОС и ПДНВ, необходимо освоить принципы формирования, передачи,

приема и обработки сигналов судовыми цифровыми радиоэлектронными средствами, в том числе, получить практические навыки по осуществлению передачи и получения информации с использованием подсистемы и оборудования ГМССБ, а также выполнения функциональных требований ГМССБ.

Методы исследования объектов профессиональной деятельности специалиста по технической эксплуатации транспортного радиооборудования

Одними из основных объектов профессиональной деятельности студентов специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» являются судовые связные системы [5, 6], структура и функционирование которых описывается моделью радиотехнического канала связи. [7, 8] Упрощенная структура канала связи приведена на рис. 1.



Рис. 1. Упрощенная структура радиотехнического канала связи

В настоящее время практически вся приемо-передающая аппаратура канала связи реализуется на базе цифровых процессорных устройств, что в сравнении с аналоговыми системами позволяет обеспечить более высокую надежность канала связи.

Большое внимание в процессе освоения студентами специальных профессиональных компетенций уделяется практическим навыкам технической эксплуатации аппаратуры ГМССБ, в том числе УКВ и ПВ-КВ радиостанций, являющимися приемо-передающей аппаратурой канала связи. Основным модулем приемо-передающей аппаратуры ГМССБ является цифровой сигнальный процессор, структура которого специально разработана для потоковой обработки информации в режиме реального времени. [9, 10] В лабораториях кафедры радиоэлектроники ФГБОУ ВО ВГУВТ имеются аппаратно-программные комплексы DSK-5510 на базе цифрового сигнального процессора (ЦСП) TMS320C5510. Данные комплексы позволяют реализовать модель цифрового канала связи и освоить методы синтеза и исследования основных принципов функционирования цифровых радиоэлектронных систем [11, 12].

При изучении курса «Прикладные задачи цифровой обработки сигналов» предлагается исследование модели цифрового радиотехнического канала связи на аппаратно-программном комплексе DSK-5510 [13, 14]. Фото лабораторной установки приведено на рис. 2.

Методика синтеза приемо-передающих устройств канала связи разделена на несколько этапов:

1. Проводится теоретическое исследование процессов преобразования радиотехнического сигнала в канале связи:

Изучаются теоретические основы формирования радиосигнала в передающем устройстве на примере математических моделей (ММ) однотоновых амплитудно-модулированных (АМ) сигналов, рассматривается процесс дискретизации аналогового сигнала в соответствии с теоремой Котельникова, исследуется процесс детектирования (выделения управляющего сигнала – полезного передаваемого сообщения из АМ – сигнала) [15, 16].

2. Проводится теоретическое исследование структуры канала связи: приемное и передающее устройства реализованы на ЦСП TMS320C5510 программным способом на двух пространственно-разнесенных комплексах DSK-5510, среда распространения эмулируется коаксиальным кабелем, соединяющим выход кодека передатчика и вход кодека приемника; в качестве регистрирующего устройства выбран цифровой осциллограф PCS-500 компьютерно-измерительной системы PC Lab2000, совмещающий функции осциллографа и анализатора спектра (рис. 3).

3. Определяется единая частота дискретизации сигналов в канале связи, исходя из технических характеристик аппаратно-программного комплекса DSK-5510. Так как ЦСП предназначен для обработки звуковых сигналов, то в DSK-5510 частота дискретизации кодека уже заложена в соответствии с условиями теоремы Котельникова ($f_d=48\text{кГц}$).

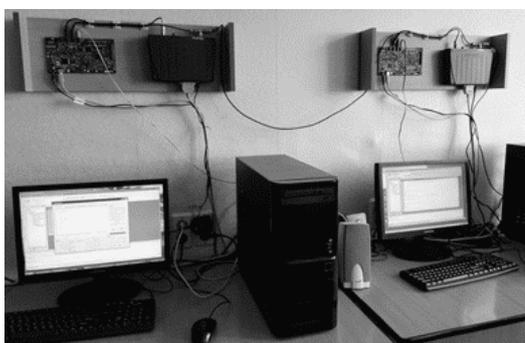


Рис. 2. Лабораторная установка по исследованию приемо-передающих устройств на базе цифрового сигнального процессора TMS320C5510

4. В программной среде CCStudio подготавливается управляющая программа, которая записывается в ЦСП, и проводит синтез модулей и сигналов на передающей стороне канала связи:

– исходя из условия теоремы Котельникова ($T_{\text{дискр}} \leq 1/(2f_{\text{верхн}})$), частоты дискретизации кодека и относительной узкополостности модулированного сигнала ($f_{\text{упр}}/f_{\text{нес}} \leq 0,1$), генерируются управляющий (в примере $f_{\text{упр}}=400\text{Гц}$) и несущий (в примере $f_{\text{нес}}=6\text{кГц}$) гармонические сигналы:

а) формирование несущего сигнала осуществляется в соответствии с выражением:

$$\text{sineNes}[i]=\text{AmpNes}*\sin(W_{\text{Nes}}*i), i=0 \div Kt_{\text{Nes}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{Nes}}=2\pi/Kt_{\text{Nes}}$ – угловое приращение,
 $Kt_{\text{Nes}}=48000/f_{\text{нес}}$ – количество отсчетов несущего сигнала в одном колебании.

б) формирование управляющего сигнала осуществляется в соответствии с выражением:

$$\text{sineUpr}[i]=\text{AmpUpr}*\sin(W_{\text{Upr}}*i); i=0 \div Kt_{\text{Upr}}, \quad (2)$$

где $W_{\text{Upr}}=2\pi/Kt_{\text{Upr}}$ – угловое приращение,
 $Kt_{\text{Upr}}=48000/f_{\text{упр}}$ – количество отсчетов несущего сигнала в одном колебании.

– исходя из частоты дискретизации, параметров управляющего и несущего сигналов, формируется амплитудно-модулированный (АМ) сигнал (эмулируются функции амплитудного модулятора) в соответствии с выражением:

$$\text{AMsignal}[i]=(\text{AmpNes}+\text{AmpUpr}*\sin(W_{\text{Upr}}*i))*\sin(W_{\text{Nes}}*i), \quad (3)$$

Т.В. Гордяскина, Л.С. Грошева

Исследование элементов судовой приемо-передающей аппаратуры на базе сигнального ...

где $i=0 \div KtUpr$,

$k=0 \div KtNes-1$, если $k=KtNes$, то $k=0$.

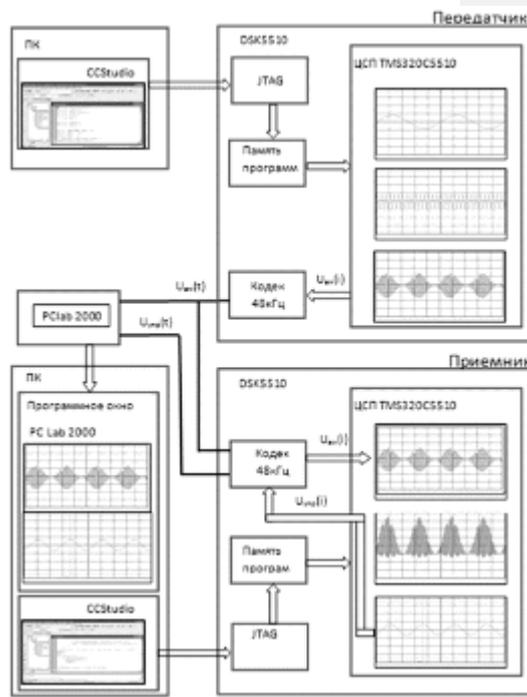


Рис. 3. Аппаратно-программная модель канала связи на DSK-5510

– сформированный цифровой АМ сигнал подается на кодек, с выхода которого аналоговый АМ сигнал передается по коаксиальному кабелю на вход приемного устройства и на цифровой осциллограф PCS-500 (см. рис. 4).

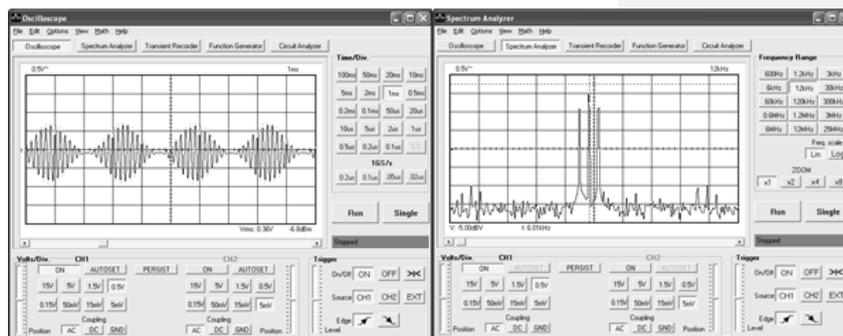


Рис. 4. Осциллограмма и спектр амплитудно-модулированного сигнала на выходе передатчика ($f_{нес}=6кГц$, $f_{нр}=400Гц$)

5. В программной среде CCStudio подготавливается управляющая программа, которая записывается в ЦСП, и выполняет синтез модулей и сигналов на приемной

стороне канала связи, исходя из условия одноканальной передачи (в канале связи только один передатчик и нет необходимости на входе приемника размещать частотно-избирательное устройство):

– исходя из частоты дискретизации и параметров управляющего сигнала, в программном пакете Matlab R2007b GUI SPTool синтезируется цифровой нерекурсивный фильтр низкой частоты (ЦФНЧ) (проводится расчет коэффициентов импульсной характеристики фильтра), файл с коэффициентами ЦФНЧ импортируется в CCStudio,

– исходя из информации о принятом АМ сигнале и частоте несущего гармонического сигнала, синтезируется синхронный амплитудный детектор (перемножается АМ сигнал на гармоническое несущее колебание, из полученного полигармонического сигнала нерекурсивным ФНЧ выделяется управляющий гармонический сигнал):

а) формирование несущего сигнала осуществляется по формуле:

$$\text{signalNes}[i]=\text{AmpNes}*\cos(\text{WNes}*i), i=0 \div \text{KtNes}. \quad (4)$$

где $\text{WNes}=2\pi/\text{KtNes}$ – угловое приращение,

$\text{KtNes}=48000/f_{\text{нес}}$ – количество отсчетов несущего сигнала в одном колебании.

б) синхронизация фаз входного АМ-сигнала и несущего гармонического колебания заключается в поиске первого максимального значения амплитудно-модулированного сигнала и фиксации его номера NumMax.

в) умножение амплитудно-модулированного сигнала на несущий сигнал осуществляется, начиная с точки с номером NumMax, по формуле:

$$\text{Signal}[k]=\text{sinetable}[i]*\text{signalNes}[ii]; \quad (5)$$

где $i=\text{NumMax}+\text{SINE_TABLE_SIZE}$;

$k=0+\text{SINE_TABLE_SIZE}$;

$ii=0 \div \text{KtNes}$; если $(ii > \text{KtNes})$ $ii=0$.

г) сформированный полигармонический сигнал поступает на нерекурсивный ЦФНЧ, где выделяется «полезный» низкочастотный сигнал. Проводится дискретная свёртка отсчетов входного сигнала и коэффициентов импульсной характеристики, на основании которой формируется выходной отсчёт [16].

– в детекторе выделяется управляющий сигнал (полезное передаваемое сообщение – гармонический сигнал с $f_{\text{упр}}=400\text{Гц}$), который поступает на кодек для последующего отображения на цифровом осциллографе PCS-500 (см. рис. 5, 6) [17].

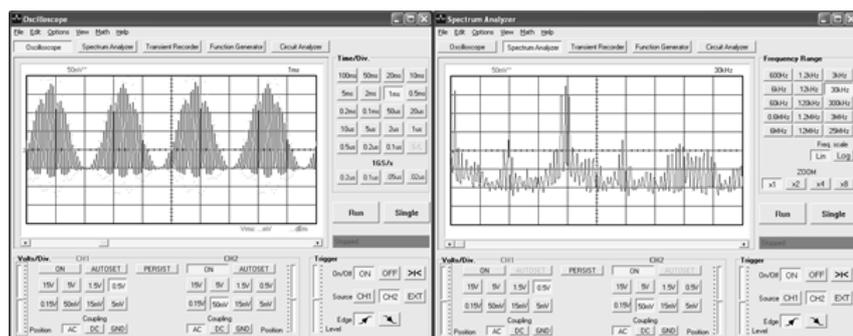


Рис. 5. Осциллограмма и спектр сигнала в ЦСП приемника после перемножения АМ-сигнала и несущего колебания

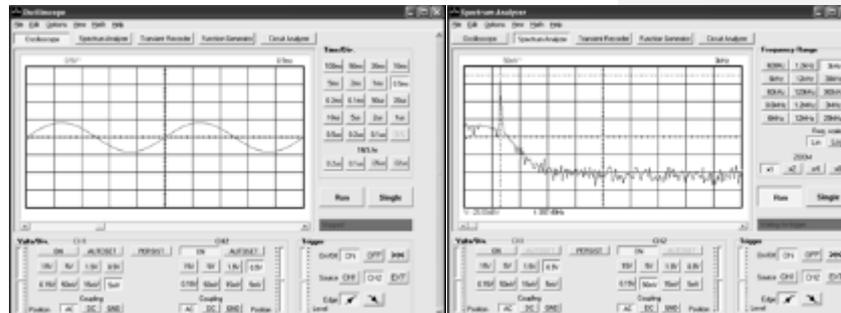


Рис. 6. Осциллограмма и спектр управляющего сигнала на выходе приемника

Предложенная методика исследования демонстрирует преобразование сигналов на выходе основных блоков приемо-передающих устройств, что позволяет студентам, наблюдая осциллограммы и спектры, и убедиться в том, что управляющий низкочастотный сигнал от источника сообщений доставлен получателю без искажений.

Заключение

Современный выпускник вуза (инженер по технической эксплуатации транспортного радиоборудования) обеспечивает себе конкурентоспособность на рынке труда, демонстрируя потенциальному работодателю профессиональные компетенции и навыки технической диагностики и эксплуатации объектов профессиональной деятельности. В связи с этим ВУЗ должен разрабатывать современные методики обучения, позволяющие будущим выпускникам эффективно решать задачи, возникающие в профессиональной деятельности.

Предложенная на кафедре радиоэлектроники ФГБОУ ВО «ВГУВТ» методика исследования объектов профессиональной деятельности позволяет студентам освоить профессиональные компетенции в сфере технической эксплуатации судового радиоборудования, а именно, получить теоретические сведения и практические навыки синтеза, технической диагностики и эксплуатации судовых цифровых радиотехнических систем – оборудования радиотехнического канала связи.

Список литературы:

1. Plyushchaev V.I., Ways of the ship automatic mooring implementation within the framework of fee shipping technology creation: Marine intellectual technologies. № 4 (42) V.2 2018 – Pp.98-103.
2. Grosheva L.S., Mooring of a ship with wheel propulsion steering complex: Marine intellectual technologies.. № 3 (45) V.3 2019. – Pp. 191–195.
3. Bychkov V.Y. Dynamics of vessel with wheel propulsion steering system under external conditions : Marine intellectual technologies.№ 4 (46) V.2 2019. – Pp. 139–146.
4. Приказ министерства образования и науки Российской Федерации от 12 сентября 2016г. «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по специальности 25.05.03 Техническая эксплуатация транспортного радиоборудования (уровень специалитета)».
5. Березовский, П. П. Основы радиотехники и связи: учебное пособие / П.П. Березовский. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 212 с.
6. Площаев В.И. Организация канала передачи данных волномерного буя на базе автоматической идентификационной системы / Площаев В.И., Мерзляков В.И., Перевезенцев С.В. // Вестник ВГАВТ. – 2015. – №43. – С. 56–61.
7. Филатова С.Г. Радиотехнические системы: учебное пособие / С.Г. Филатова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 119 с.
8. Площаев В.И. Пути повышения эффективности использования АИС на внутренних водных

- путях за счет организации передачи по ее каналам дополнительной информации. // Плущаев В.И., Корнев А.Б. // Речной транспорт (XXI век), – 2012. – №5. С. 38–42.
9. Техническая документация Texas Instruments. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ti.com/product/TMS320C5515/technicaldocuments>.
10. McEliece, R.J., Channels with block interference / R.J. McEliece and, W.E. Stark // IEEE Transactions on Information Theory. 2000. Vol. 46.No.2. P. 325–343.
11. Couch L. W., Digital and Analog Communication Systems, 6th edition, Prentice Hall. 2001.
12. Гордяскина Т.В. Исследование процесса преобразования сигналов в радиотехническом канале связи с использованием программной среды Matlab Simulink R2009B. / Т.В. Гордяскина, А.А. Ипагов, Н.В. Ипагова // Вестник ВГАВТ. – 2017. – С.30–39.
13. Schumacher L., Stochastic MIMO Radio Channel Model with Experimental Validation / L. Schumacher, J.P. Kermoal, P.E. Mogensen, F.A. Frederiksen // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2002. Vol. 20. No. 6. Pp 1211–1226.
14. Техническая документация Code Composer Studio Development Tools v3.3. Getting Started Guide / spru509h.pdf – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ti.com/litv/pdf/spru509h>.
15. Goldsmith, J., Adaptive Coded Modulation for Fading Channels / J. Goldsmith, S. G. Chua // IEEE Transactions on Communications, – 1998. Vol. 46.No. 5. P. 595–602.
16. Kalman R.E., A new approach to linear filtering and prediction problems / Kalman R.E. // J. of Basis Eng. Trans. Asme. Ser. D. 1960. Vol. 82. No. 1. P. 35–45.
17. Гордяскина Т.В. Реализация синхронного детектора с применением сигнального процессора TMS320C5510. / Гордяскина Т.В., Грошева Л.С. // Вестник ВГАВТ. – 2018. № 54. С. 20–29.

THE SHIP'S RECEIVING AND TRANSMITTING EQUIPMENT ELEMENTS RESEARCH BASED ON THE TMS320C5510 SIGNAL PROCESSOR

Tatyana V. Gordyaskina,

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Ludmila S. Grosheva

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Ship's radio equipment, produced on a modern digital basis, is used as equipment for the global Maritime disaster communication system (GMDSS), vehicle traffic control systems and dangerous proximity warnings, radar and radio navigation systems.

The article presents the synthesis and research method concerning the principles of functioning the professional activity objects in relation to specialists in transport radio equipment technical operation related to the example of radio receiving and transmitting devices (GMDSS) equipment block based on the digital signal processor TMS320C5510. In the mastering the technique process, students of the «Transport radio equipment technical operation», specialty master professional competencies, get theoretical and practical skills of synthesis, technical diagnostics and ship radio equipment maintenance.

Keywords: ship radio-electronic means, radio-technical communication channel, signal processor, digital receiving and transmitting devices.

References

1. Plyushchaev V.I., Kuzmichev I.K. Ways of the ship automatic mooring implementation within the framework of free shipping technology creation: Marine intellectual technologies. № 4 (42) V.2 2018 – Pp.98–103.
2. Grosheva L.S., Merzlyakov V.I., Plyushchaev V.I. Mooring of a ship with wheel propulsion steering complex: Marine intellectual technologies. № 3 (45) V.3 2019. – Pp. 191–195.
3. Bychkov V.Y., Grosheva L.S., Plyushchaev V.I. Dynamics of vessel with wheel propulsion steering system under external conditions: Marine intellectual technologies. № 4 (46) V.2 2019. – Pp. 139–146.
4. Prikaz ministerstva obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii ot 12 sentyabrya 2016g. «Ob utverzhdenii federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo standarta vysshego obrazovaniya po spetsial'nosti 25.05.03 Tekhnicheskaya ekspluatatsiya transportnogo radiooborudovaniya (uroven' spetsialiteta)».

5. Berezovskiy P.P. Osnovy radiotekhniki i svyazi : uchebnoe posobie / P.P. Berezovskiy. – Ekaterinburg : Izd-vo Ural. un-ta, 2017. – 212 s.
6. Plyushchaev V.I., Merzlyakov V.I., Perevezentsev S.V. Organizatsiya kanala peredachi dannykh volnomernogo buya na baze avtomaticheskoy identifikatsionnoy sistemy. Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta. Vypusk 43. (2015). 56–61.
7. Filatova S.G. Radiotekhnicheskie sistemy: uchebnoe posobie / S.G. Filatova. – Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2018.
8. Plyushchaev V.I., Kornev A.B. Puti povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya AIS na vnutrennikh vodnykh putyakh za schet organizatsii peredachi po ee kanalam dopolnitel'noy informatsii. Rechnoy transport (XXI vek), –2012. – №5. 38–42.
9. Tekhnicheskaya dokumentatsiya Texas Instruments. – Web. <http://www.ti.com/product/TMS320C5515/technicaldocuments>.
10. McEliece, R.J., Stark, W.E. «Channels with block interference» IEEE Transactions on Information Theory. (2000). Vol. 46. No.2. 325–343.
11. Couch L.W. Digital and Analog Communication Systems, 6th edition, Prentice Hall. 2001.
12. Gordyaskina T.V., Ipatov A.A., Ipatova N.V. Issledovanie protsessa preobrazovaniya signalov v radiotekhnicheskom kanale svyazi s ispol'zovaniem programmnoy sredy Matlab Simulink R2009B. Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta. – 51 (2017): 30–39.
13. Schumacher, L., Kermaol, J.P., Mogensen, P.E. and Frederiksen, F.A. «Stochastic MIMO Radio Channel Model with Experimental Validation» //IEEE Jornal on Selected Areas in Cjmmunications. 20.6. (2002):1211–1226.
14. Tekhnicheskaya dokumentatsiya Code Composer Studio Development Tools v3.3. Getting Started Guide / spru509h.pdf – Web: <<http://www.ti.com/litv/pdf/spru509h>>
15. Goldsmith, J., Chua, S. G. Adaptive Coded Modulation for Fading Channels // IEEE Transactions on Communicatios, Vol. 46.No. 5. (1998). 595–602.
16. Kalman R.E., A new approach to linear filtering and prediction problems // J. ofBasis Eng. Trans. Asme. Ser. D. (1960). Vol. 82. No. 1. 35–45.
17. Gordyaskina T.V., Grosheva L.S. Realizatsiya sinkhronnogo detektora s primeneniem signal'nogo protsessora TMS320C5510. Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta. – 54. (2018). 20–29.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Грошева Людмила Серафимовна, к.т.н., доцент, доцент кафедры радиоэлектроники, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: lyudmila.grosheva@yandex.ru
Гордяскина Татьяна Вячеславовна, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры радиоэлектроники, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: vim@vgavt-nn.ru

Lyudmila S. Grosheva, PhD in Engineering Science, Associate Professor, associate Professor of the Department of Radio Electronics Volga state University of water transport 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Tatyana V. Gordyaskina, PhD in Engineering Science, Associate Professor, associate Professor of the Department of Radio Electronics Volga state University of water transport 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 23.03.2020 г.

УДК 629.12.

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.75>

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЁТА МАССЫ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОРПУСА КОМБИНИРОВАННОГО СУДНА

И.А. Гуляев

ФАУ «Российский Речной Регистр», г. Москва, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2602-3115>

Ю.А. Кочнев

Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия

Е.П. Роннов

Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Расчёт полного водоизмещения и максимального дедвейта для судов невозможен без точного определения массы металлического корпуса. На её значение оказывает влияние класс, тип судна, архитектурно-конструктивные особенности, условия эксплуатации, выражаемые в обеспечении общей и местной прочности. Все это необходимо учитывать уже на начальных этапах проектирования, так как даже незначительные погрешности при расчете указанной массы оказывают сильное влияние на конечный результат водоизмещения порожнём. В настоящей работе рассмотрена математическая модель прогнозирования данной составляющей нагрузки масс для комбинированного судна, включающая генерацию теоретической судовой поверхности, пространственную компоновку элементов корпуса, расчёт фактических размеров отсеков и связей конструкции корпуса и на их основании поэтапный расчёт массы. Приведены основные эмпирические формулы, составляющие содержание математической модели и результаты тестовых расчётов.

Ключевые слова: Математическая модель, комбинированное судно, металлический корпус

Введение

Комбинированные суда повышают экономическую эффективность танкеров за счёт обратной загрузки. Одновременно они являются более универсальными судами, что становится важным качеством в условиях рыночной нестабильности грузопотоков, от характеристик которых зависит архитектурно-конструктивный тип судна. Этим объясняется выросший интерес к проектированию и постройке судов, способных перевозить как наливные, так и сухие грузы.

Масса металлического корпуса грузовых судов, например танкеров, может достигать до 70% от массы самого судна. Поэтому точность расчета этой составляющей нагрузки существенно влияет на точность определения водоизмещения и, соответственно, на все технико-эксплуатационные и экономические показатели судна. В связи с этим требуется на всех стадиях проектирования судна его массу и ее составляющие рассчитывать с максимально возможной точностью. Отмеченное в полной мере можно отнести и к комбинированным грузовым судам, которые предназначаются для попеременной перевозки или жидких грузов наливом, или насыпных и других твердых грузов навалом. При этом для каждого рода груза предусматриваются отдельные грузовые помещения. В некоторой степени эти суда являются вариантом развития наливного судна. Однако следует иметь в виду, что масса металлического корпуса комбинированного судна будет заметно отличаться от массы танкеров, так как наличие дополнительно

помещения для сухого груза приводит к особенностям его конструкции корпуса (рисунок 1), условиям обеспечения общей и местной прочности. По сути, объединяются два различных конструктивных типа корпуса [1].

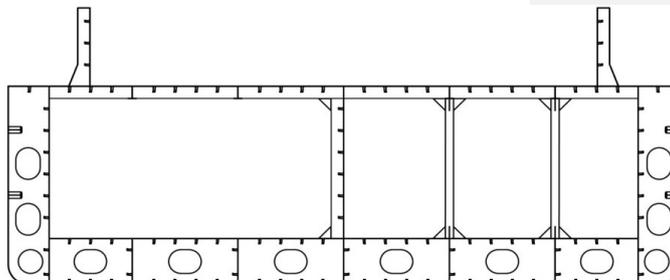


Рис. 1. Типовая схема мидель-шпангоут комбинированного судна

Особенности математической модели корпуса комбинированного судна и расчёта его массы

На начальных стадиях для расчета данной массы используются формулы, в которых устанавливается связь между искомой величиной и элементами и характеристиками судна, объединенные в так называемый модуль. В работе [2] рассматриваются четыре группы формул, позволяющие в зависимости от состава исходных данных, условий постановки задачи и, следовательно, вида модуля, используя статистические данные по близкому судну-прототипу рассчитывать массу металлического корпуса. Вид модуля определяет достигаемую точность расчетной формулы. В [3] предлагается делать выбор вида модуля из возможного множества на основе решения оптимизационной задачи, исходя из экстремальных значений показателей аппроксимации виртуальных значений искомой величины.

Наиболее достоверный результат, как отмечается в [2], достигается по формулам четвертой группы, позволяющим учесть конструктивные особенности корпуса, когда масса металлического корпуса рассчитывается как сумма масс основных его конструктивных элементов, каждый из которых рассчитывается на начальной стадии по своему модулю. По сути, этот подход как бы соответствует расчету, когда соответствующие конструктивные чертежи имеются. Развить и применить этот подход при отсутствии соответствующих чертежей при исследовательском проектировании в настоящее время удастся, рассчитывая массу корпуса по всем отдельным конструктивным его элементам, предварительно разработав виртуальную модель конструкции корпуса с последующим поэтапным расчетом по ней интересующей массы. Ниже в статье показана реализация такого способа расчёта массы металлического корпуса применительно к комбинированному судну.

Расчёт массы металлического корпуса является подсистемой общей системы проектирования судна [4] которая, как и любая подсистема, может быть представлена схематично в форме кибернетического «черного ящика», характеризуемого информационным вектором входа $X(x_i)$ (исходные данные), функцией $F[X(x_i), x_i]$, описывающей состояние подсистемы (математическая модель), и выходным информационным вектором $Y\{X(x_i), F[X(x_i), x_i]\}$. Подсистема может рассматриваться как составная часть математической модели проектирования судна. Она по известному информационному вектору $X(x_i)$ определяет его выходной вектор, а именно – значение массы, соответствующее разделу «Корпус», как ставится задача в настоящей работе.

Подсистема «Расчёт массы металлического корпуса» с позиции системного проектирования состоит из трёх частей (подмножеств)

$$F[X(x_i), x_i] = \bigcup_{i=1}^{i=3} R_i,$$

- где R_1 – множество пространственных отношений, описывающих пространственную компоновку конструкции корпуса;
 R_2 – множество отношений, описывающих геометрические характеристики конструктивных элементов корпуса;
 R_3 – множество отношений расчёта массы отдельных элементов корпуса.

Отношения R_1 компоновки включают в себя:

- аналитическое описание судовой поверхности;
- расстановку (определения положения) поперечных и продольных переборок, ограждений грузовой палубы, пиллерсов, ферм;
- расстановку продольных и поперечных связей корпуса.

Отношения R_2 отражают определение геометрических размеров всех связей корпуса, проверку общей и местной прочности.

Судовая поверхность определялась интерполяционным методом по выражению [5]

$$S = f(X_i, Y_{i,j}, Z_j),$$

где $X_i = \frac{L}{2} - i \times \frac{L}{20}, i = 0, 1, 2, \dots, 20$ – абсциссы теоретических шангоутов;

$Z_j, j = 0, 1, 2, \dots$ – аппликаты теоретических ватерлиний;

$Y_{i,j} = \overline{Y_{i,j}} \frac{B}{2}$ – ординаты теоретических шангоутов;

Относительная ордината судовой поверхности $\overline{Y_{i,j}}$ для i -ого теоретического шангоута, j -ой теоретической ватерлинии, определяемая по формуле

$$\overline{Y_{i,j}} = \sum_{k=1}^{k=4} \left\{ \left(\overline{Y_{i,j}}' \right)_k \times s_k \right\},$$

где $\overline{Y_{i,j}}'$ – относительная ордината судовой поверхности корпусов судов прототипов;

s_k – интерполяционный множитель, равный

$$s_1 = \frac{\overline{x_{c2}} - \overline{x_{c1}}}{\overline{x_{c2}} - \overline{x_{c1}}} \times \frac{\delta_2 - \delta}{\delta_2 - \delta_1};$$

$$s_2 = \frac{\overline{x_c} - \overline{x_{c1}}}{\overline{x_{c2}} - \overline{x_{c1}}} \times \frac{\delta_2 - \delta}{\delta_2 - \delta_1};$$

$$s_3 = \frac{\overline{x_{c4}} - \overline{x_c}}{\overline{x_{c4}} - \overline{x_{c3}}} \times \frac{\delta - \delta_1}{\delta_2 - \delta_1};$$

$$s_4 = \frac{\overline{x_c} - \overline{x_{c3}}}{\overline{x_{c4}} - \overline{x_{c3}}} \times \frac{\delta - \delta_1}{\delta_2 - \delta_1};$$

$\overline{x_{c k}}$ – относительная абсцисса центра величины корпусов базовых судов;

δ_1, δ_2 – коэффициенты полноты корпусов базовых судов;

$\overline{x_c}, \delta$ – исходные значения относительной абсциссы центра величины и коэффициента общей полноты.

Система набора корпуса в средней части принята продольная, а в оконечностях – поперечная. При проектировании конструктивного миделя, исходя из рекомендаций [6, 7], производится расстановка и рассчитывается количество холостых и рамных продольных балок по днищу, второму дну, палубе, наружным и вторым бортам, продольной диаметральной переборке, а также количество пиллерсов. Аналогично рассчитывается количество рамных и холостых балок поперечного набора в средней части, машинном отделении, в оконечностях, комингсах ограждения грузовой палубы, либо люковых вырезов.

При делении корпуса на отсеки длина форпика принималась равной половине ширине судна. Размеры других отсеков находились с использованием статистических зависимостей, полученных по современным нефтеналивным танкерам внутреннего и смешанного (река-море) плавания. Так длина подруливающего устройства определялась по формуле

$$l_{IV} = (0,0409 - 1,318L \times 10^{-4})L$$

с последующей корректировкой по числу рамных шпаций.

Величина кофердама в носу принималась равной двум шпациям.

Длина машинного отделения при условии применения в качестве движителя винтовых колонок определяется по эмпирическим формулам

$$L_{MO} = \left(a - b \frac{LBT}{Nv} \right) L$$

где a , b – коэффициенты, принимаемые следующим образом:

при одном главном двигателе $a = 0,207$; $b = 1,13$;

при двух главных двигателях $a = 0,25$; $b = 0,23$.

При определении длины грузовой зоны в корпусе учитывается то, что при использовании в качестве грузовых погружных насосов насосное отделение отсутствует. Топливные цистерны располагаются в отсеке перед машинным отделением, и его размеры определяются исходя из автономности и требований по возможности их обслуживания. На танкерах смешанного плавания в соответствии с требованиями [6] предусматриваются отстойные танки объемом 0,03 от объема грузовых танков. Размеры грузового танка, высота междудонного пространства и ширина двойных бортов принимаются с учетом требований [6, 7, 8, 9].

После определения размеров и количества всех связей корпуса, переборок, палуб и платформ выполняется проверка корпуса судна на общую прочность по допускаемым напряжениям. В случае получения отрицательного результата корректируются размеры связей.

Далее выполняется расчет масс статей и подгрупп, составляющих массу группы 0101 «Корпус металлический» в соответствии со стандартом

$$P_{\text{мк}} = \sum_{i=1}^5 xP_i$$

где P_i – масса i -ой

P_1 – масса подгруппы «Обшивка наружная, настил второго дна и примыкающие части»;

P_2 – масса подгруппы «Палуба и платформы корпуса»;

P_3 – масса подгруппы «Переборки корпуса»;

P_4 – масса подгруппы «Надстройки, рубки и мачты»;

P_5 – массы подгруппы «Конструкции специальные»

Масса первой и второй подгруппы – наружной обшивки, второго дна, настила главной палубы и платформ определяется исходя из их фактической площади и средней толщины используемых листов и массы набора [10, 11]

$$P_{1,2} = \rho_{\text{мк}} \sum_j S_{j_1, j_2} \times t_{j_1, j_2} + \sum_j G_{j_1, 2} \times L_{j_1, 2} \times n_{j_1, 2}$$

где $\rho_{\text{мк}}$ – плотность материала корпуса;

S_{j_1, j_2} – площадь i -ой статьи первой (второй) подгруппы;

t_{j_1, j_2} – средняя толщина листов i -ой статьи первой (второй) подгруппы;

Масса рамного и холостого набора, составляющих соответствующие статьи первой и второй подгрупп определялись исходя из расчета массы одного погонного метра $G_{j_1, 2}$, длины $L_{j_1, 2}$ и количества балок этого набора $n_{j_1, 2}$.

При расчете массы продольных и поперечных переборок P_3 учитывались размеры и форма переборок и их средняя толщина.

Масса металла надстроек рассчитывалась как сумма основных ее конструктивных элементов, таких как наружные стенки, палубы, переборки и выгородки. При этом общая площадь для надстройки $S_{об}$ определялась по статистической зависимости

$$S_{об} = S_{ж} \times (0,906 - 2,216 \times P \times 10^{-5})^{-1},$$

где P – грузоподъемность судна;

$S_{ж}$ – площадь жилых и общественных помещений в надстройке

$$S_{ж} = (33,196 - 0,505 n_{ЭК}) n_{ЭК}$$

Масса стенок и палуб надстройки при известной их площади определялась исходя из удельной массы, представляющей отношение массы соответствующего конструктивного элемента к его площади. Установлены статистические зависимости удельной массы стенок с набором M_c

$$\overline{M_c} = 654 \times S_c^{-1,57},$$

где S_c – площадь наружных стенок, м².

Для надстройки, имеющей открытые палубы удельная масса равна

$$\overline{M_{пю}} = 0,154 - 1,159 \times S_{об} \times 10^{-4} \pm 0,005$$

Если надстройка не имеет открытых палуб

$$\overline{M_{пю}} = 0,159 - 2,182 \times S_{об} \times 10^{-4} \pm 0,005$$

Масса 1 м² выгородки с набором принята 0,053 т/м².

Площадь выгородки надстройки определяется в зависимости от их общей длины l

$$l = (5,736 + 2,718 \times P_{гр} \times 10^{-4} \pm 0,956)(L_{ю} + B_{ю}),$$

где $P_{гр}$ – грузоподъемность судна, т

$L_{ю}, B_{ю}$ – длина и ширина юта.

Масса ограждения грузовой площадки рассчитывается по его конструктивным элементам, исходя из принятой длины, ширины и высоты ограждения.

Масса мачт, кожухов дымовых труб, как показал анализ статистических данных, не превышает 14% от массы надстройки. Статистическая зависимость массы мачт имеет вид

$$\frac{M_M}{B} = 0,302 - 4,499 \times L \times 10^{-3} \pm 0,086$$

Кожухов труб

$$\frac{M_T}{P_n} = 0,11 - 5,177 \times LBH \times 10^{-7} \pm 0,05$$

P_n – масса металла надстройки.

Заключение

По изложенной математической модели были разработаны алгоритм и компьютерная программа для расчета массы металлического корпуса комбинированного судна. Тестовый расчет этой массы судна, имеющего элементы и характеристики комбинированного судна проекта RST-54, показали, что расчетное значение соответствует данным базового судна. Это дает основание заключить, что данная программа адекватно отражает особенности конструкции корпуса комбинированных судов и может рассматриваться как методика расчета массы металлического корпуса рассматриваемого типа судов и рекомендуется к использованию на начальных стадиях проектирования, в задачах исследовательского проектирования, обоснования и оптимизации элементов и характеристик.

Список литературы:

1. Dorman W. Combination bulk carriers. «Marine technology», 1966, N4, p. 409–453.
2. Ашик В. В. Проектирование судов: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1985. – 320 с.
3. Поспелов В. И. Выбор на ЭВМ оптимальных элементов грузовых судов внутреннего плавания. – Л.: Судостроение, 1978. – 76 с.
4. Гайкович А. И. Моделирование процессов создания морской техники. С-Пб.: Электронное издание, СПбГМТУ. – 2015 – 149с.
5. Coons S. A. Surfaces for computer-aided design of space forms.
6. ФАУ «Российский морской регистр судоходства». Правила классификации и постройки морских судов. Санкт-Петербург, 2019 г.
7. ФАУ «Российский Речной Регистр». Правила классификации и постройки судов. Москва, 2019 г.
8. Marie Douet. Combined ships: an empirical investigation about versatility, Maritime Policy & Management, 1999, VOL. 26, NO. 3, p. 231-248.
9. Det Norske Veritas – Germanischer Lloyd (DNV-GL). Rules for Classification of Ships [Electronic resource] rules.dnvgl.com URL: <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RU-SHIP/2019-07/DNVGL-RU-SHIP-Pt1Ch2.pdf> (Accessed on: 27.11.2019)
10. Angela P. Boiko and Alexander V. Bondarenko. Calculation of Weight of SWATH Ship in Preliminary Design Stages / Journal of Ship Technology, Vol. 5, No.2, July 2009, pp 34–38
11. Jan P. Michalski A parametric method for preliminary determining of mass characteristics of inland navigation ships / Polish maritime research, 3, 2005 pp 9–14

MATHEMATICAL MODEL FOR CALCULATING THE MASS OF THE METAL HULL OF A COMBINED VESSEL

Ilya A. Gulyaev,

Federal Autonomous Institution Russian River Register, Moscow, Russia

Yuri A. Kochnev,

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Evgeniy P. Ronnov,

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. *The total displacement and maximum deadweight for ships calculation is impossible without the mass of the metal hull accurate determination. Its value is influenced by the class, type of vessel, architectural and design features, and operating conditions that are expressed in providing General and local strength. All this must be taken into account at the initial design stages, since even minor errors in the specified mass calculation have a strong impact on the empty displacement final result. In this paper, the mathematical model of predicting the component loads for the ship combined mass, including the surface ship theoretical generation, the case elements spatial layout, the hull structure the compartments and ties actual size calculation of and on the basis of the mass itemized calculation. The main empirical formulas that make up the mathematical model content and the test calculations results are presented.*

Keywords: *mathematical model, combined ship, metal hull*

References:

1. Dorman W. Combination bulk carriers. «Marine technology», 1966, N4, p. 409–453.
2. Ashik V.V. Proektirovanie sudov: Uchebnik. – 2-e izd., pererab. i dop. – L.: Sudostroenie, 1985.–320 s.
3. Pospelov V.I. Vybora na EVM optimal'nyh elementov gruzovyh sudov vnutrennego plavaniya. – L.: Sudostroenie, 1978. – 76 s.
4. Gajkovich A.I. Modelirovanie processov sozdaniya morskoy tekhniki. S-Pb.: Elektronnoe izdanie, SPbGMTU. – 2015 – 149s.
5. Coons S.A. Surfaces for computer-aided design of space forms.
6. FAI «Russian Maritime Register of Shipping». Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships. Saint-Petersburg, 2019.
7. FAI «Russian River Register». Rules for the Classification and Construction. Moscow, 2019.
8. Marie Douet. Combined ships: an empirical investigation about versatility, Maritime Policy & Management, 1999, VOL. 26, NO. 3, p. 231–248.
9. Det Norske Veritas – Germanischer Lloyd (DNV-GL). Rules for Classification of Ships [Electronic resource] rules.dnvgl.com URL: <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/dnvgl/ru-ship/2019-07/dnvgl-ru-ship-pt1ch2.pdf> (Accessed on: 27.11.2019)
10. Angela P. Boiko and Alexander V. Bondarenko. Calculation of Weight of SWATH Ship in Preliminary Design Stages /Journal of Ship Technology, Vol. 5, No.2, July 2009, pp 34-38
11. Jan P. Michalski A parametric method for preliminary determining of mass characteristics of inland navigation ships / Polish maritime research, 3, 2005 pp 9-14

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Илья Александрович Гуляев, начальник корпусного отдела ФАУ «Российский Речной Регистр»,
105187, г. Москва, Окружной проезд, 15, кор. 2,
e-mail: guliaev@rivreg.ru

Юрий Александрович Кочнев, к.т.н., доцент, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5,
e-mail: ptps@vgavt-nn.ru

Евгений Павлович Роннов, д.т.н., профессор, зав. кафедрой Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5,
e-mail: ptps@vgavt-nn.ru

Илья А. Gulyaev, Head of Hull Department, Federal Autonomous Institution Russian River Register,
bld. 2, 15, Okruzhnoy proezd, Moscow, Russia, 105187

Yuri A. Kochnev, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Federal State-Financed Educational Institution of Higher Education Volga State University of Water Transport
5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

Evgeniy P. Ronnov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, Federal State-Financed Educational Institution of Higher Education Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

Статья поступила в редакцию 10.02.2020 г.

УДК 629.12.001

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.76>

ПРИНЦИПЫ СИСТЕМАТИЗАЦИИ СУДОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ БУКСИРНЫХ СУДОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ

С. В. Давыдова,

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

И. В. Андриянов,

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. Работа посвящена вопросам разработки судовой поверхности буксирного судна интерполяционным методом на ранних стадиях проектирования. Разрабатываемый теоретический чертеж корпуса буксира должен максимально соответствовать заданным параметрам, а именно расчетным значениям коэффициента общей полноты и относительной абсциссе центра величины. Приведены принципы подхода к систематизации существующих корпусов судов и оценена возможность их применения для разработки теоретической поверхности с заданными параметрами. В результате анализа были проведены систематизация и отбор наиболее подходящих для обработки корпусов. Многообразие форм корпусов удалось привести к единому виду, что необходимо для проведения интерполяции и, как следствие, создания нового корпуса с заданными характеристиками. Принятый подход по разработке судовой поверхности может быть использован для автоматизации процесса ее получения.

Ключевые слова: интерполяционный метод, коэффициент общей полноты, абсцисса центра величины, обводы корпуса буксирного судна.

Введение

Разработка судовой поверхности является важнейшим этапом проектирования судна. Аналитические способы ее формирования позволяют получить судовую поверхность в кратчайшие сроки и с высоким качеством. В настоящее время продолжают работы по дальнейшему усовершенствованию методов конструирования судовых поверхностей и дальнейшей автоматизации разработки теоретического чертежа [1, 2, 3] и сглаживания судовых обводов при наличии ординат теоретического корпуса [4, 5]. Сложность судовых обводов является основной преградой для создания универсальных программ, позволяющих автоматизировать получение судовой поверхности, максимально соответствующей заданным параметрам [6, 7, 8].

Несмотря на то, что интерполяционный метод позволяет с высокой степенью точности получить ординаты теоретического чертежа, соответствующие расчетным геометрическим параметрам, применение его не является распространенным из-за особенностей реализации. Это связано, например, с тем, что для получения судовых обводов выполняется интерполяция между выбранными теоретическими корпусами судов – прототипов. Выбор корпусов должен учитывать особенность судовых обводов более детально, что вызывает необходимость выполнить систематизацию корпусов буксирных судов с целью разработки теоретического чертежа буксирного судна интерполяционным методом.

Систематизация корпусов буксирных судов для интерполяционного метода

Буксирные суда относятся к распространенной категории судов, выполняющих разноплановые задачи и отличающимися разнообразными условиями эксплуатации. Они могут относиться как к морским судам, так и к судам внутреннего плавания [9]. Буксирные суда обеспечивают проводку крупнотоннажных составов из барж, выполняют внутрипортовые перестановки, оказывают помощь терпящим бедствие судам и т.д.

Классификация буксирных судов выполняется по ряду основных признаков, а именно: по району плавания, по назначению буксирных судов, ледовым качествам, типу судовой силовой установки, числу гребных винтов. Разнообразие задач, решаемых буксирными судами и условий их плавания привело к созданию судов, отличающихся широким диапазоном мореходных качеств и эксплуатационно-технических характеристик. Это, в свою очередь, повлияло на появление судов с множеством архитектурных, конструктивных решений и форм корпуса.

Однако, несмотря на вышесказанное, для разработки корпуса буксирного судна на ранних стадиях проектирования также можно воспользоваться интерполяционным методом. Исходными данными для разработки теоретического чертежа, кроме главных размерений судна, являются коэффициенты полноты и абсцисса центра величины [10, 11]. Именно указанные параметры определяют основной характер обводов корпуса судна. Однако величины коэффициентов полноты грузовой ватерлинии α и погруженной части мидель-шпангоута для одного типа судов изменяются в очень узком диапазоне значений, и эти изменения несут существенные на начальных стадиях проектирования. Таким образом, интерполяцию достаточно проводить по двум параметрам, а именно: коэффициенту общей полноты корпуса судна δ и абсциссе центра величины x_c . При интерполяции корпуса по двум параметрам в качестве исходных данных необходимо иметь четыре корпуса судов прототипов.

Введем следующие обозначения: коэффициент полноты и относительную абсциссу центра величины первого прототипа обозначим δ_1, x_{c1} ; второго прототипа δ_2, x_{c2} ; третьего прототипа δ_3, x_{c3} ; четвертого прототипа δ_4, x_{c4} . Для проектируемого судна соответствующие характеристики обозначим соответственно δ_0, x_{c0} .

Для параметров проектируемого судна должны выполняться следующие ограничения:

$$\delta_1 \leq \delta_0 \leq \delta_2 \text{ и } x_{c1} \leq x_{c0} \leq x_{c2}.$$

Кроме приведенных параметров, выбор корпусов должен учитывать форму судовой поверхности. Проблемы выбора прототипов связаны с многообразием форм обводов носовых и кормовых оконечностей, обусловленных вальностью движительно-рулевого комплекса, размерами винта и т.д. Задача может быть решена, если объединить суда, имеющих подобные обводы корпусов в группы и на основании этих данных генерировать корпуса судов с заданными параметрами. Необходимо систематизировать существующие варианты буксирных судов по форме носовых, кормовых оконечностей, а также средней части корпуса судна, количеству пересечений шпангоутной ветки с каждой ватерлинией [12, 13].

По существующей традиционной классификации формы судовой поверхности буксиров, в носовой оконечности выделяют формы двух видов U-образные и V-образные. Форма поверхности определяется углом наклона шпангоута и форштевня (рисунок 1).

V-образные оконечности встречаются чаще, так как обеспечивают лучшую устойчивость на курсе и отсутствие слеминга. Оконечность U-образной формы, как правило, применяется на буксирах – толкачах, что говорит о многофункциональности судов. В данной работе исследования по применению интерполяционного метода были применены для судов с носовыми оконечностями V-образной формы.

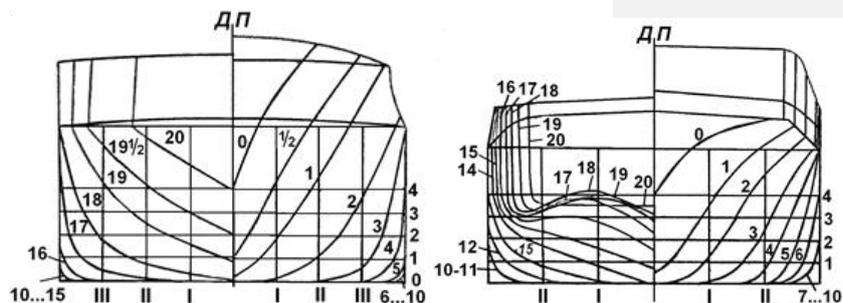


Рис. 1. Форма корпуса с U- и V-образной носовой оконечностью

Средняя часть корпуса буксирного судна может иметь килеватость, развал бортов и другие особенности. Систематизация была выполнена для наиболее распространенного варианта, не имеющего развала бортов и килеватости.

Кормовые оконечности буксиров также имеют два варианта: с «туннелями» и без них. При разработке кормовой оконечности на ее форму значительно влияет «вальность» движительно-рулевого комплекса. Также на формирование кормовой оконечности большое влияние оказывают параметры и место расположения винта. Обводы, принимаемые кормовой оконечностью, могут быть как плавными, так и с линиями сломов. В данном проекте для разработки корпуса интерполяционным методом исследовался вариант кормовой оконечности с туннельными образованиями и имеющий плавные обводы.

С целью выбора корпусов для возможности использования их в качестве прототипов были проанализированы суда проектов, представленных в таблице 1.

Таблица 1

Суда – буксиры

Название (Проект)	Назначение судна	Класс	L/B	B/T	H/T	δ	β	α	N
81170	Толкание сухогрузных составов	O	3,2	7,69	2,07	0,65	0,99	0,85	440 кВт
758Б	Толкание и буксировка сухогрузных составов	M	4,69	4,63	1,8	0,623	0,988	0,85	800 э.л.с.
947	Буксировка двухниточных сухогрузных составов	O	3,67	4,53	1,43	0,832	0,931	0,515	4000 э.л.с.
T63	Одновинтовой буксир	O	4,83	4,06	2,52	0,46	0,683	0,835	235 э.л.с.
749	Буксировка судов всех типов	O	4,4	4,97	1,93	0,632	0,995	0,865	1340 э.л.с.
758	Толкание секционных и баржевых составов	O	4,69	4,58	1,78	0,64	0,875	0,995	800 э.л.с.
P33-03-24	Буксир-плотовод	O	4,21	5,84	1,92	0,575	0,906	0,791	600 л.с.
1741A	Толкание несамостоятельных составов	P	3,875	6,557	2,21	0,645	0,995	0,847	600 л.с.
911	Толкач-буксир	P	4,15	3,66	2	0,62	0,97	0,83	220

Название (Проект)	Назначение судна	Класс	L/B	B/T	H/T	δ	β	α	N
574	Буксир	O	5,125	3,5	1,4	0,541	0,811	0,82	600

В таблице представлены суда внутреннего плавания с дизельной судовой установкой, с одним или двумя гребными винтами и типами судовой поверхности, указанные выше, а именно с V-образной носовой оконечностью, не имеющие развала бортов, килеватости и с туннельными образованиями [14, 15].

Исследование показало, что в рассматриваемом перечне судов можно выделить три группы судов с подобными обводами. В рамках отдельной группы возможно применение интерполяционного метода. Рассмотрим подробнее каждую из выделенных групп типов судовых обводов.

Форма корпуса судна 1-й группы имеет следующие особенности: носовая оконечность выполнена V-образной формы; кормовая оконечность имеет транцевую форму; в кормовой оконечности расположены туннели; переходы от днища к борту в «туннелях» плавные; развала бортов отсутствует, судно имеет килеватую форму (рисунок 2).

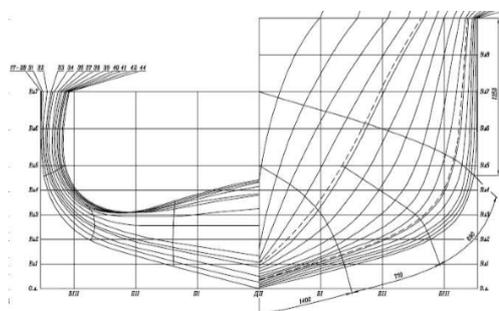


Рис. 2. Форма корпуса судна 1 группы

Форма корпуса судна 2-й группы имеет следующие особенности: носовая оконечность имеет V-образную форму; шпангоуты имеют форму двоякой кривизны; кормовая оконечность имеет транцевую форму; в кормовой оконечности расположены туннели; переходы от днища к борту в «туннелях», резкие; развал бортов отсутствует; не килеватое (рисунок 3).

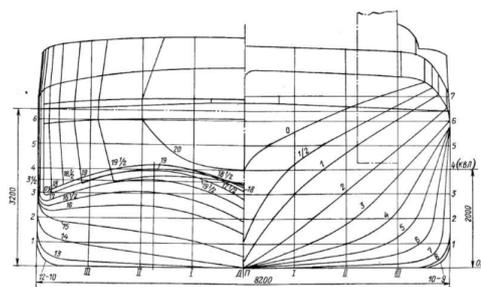


Рис. 3. Форма корпуса судна 2 группы

Форма корпуса судна 3-й группы имеет следующие особенности: носовая оконечность выполнена в V-образной форме; шпангоуты имеют форму двоякой кривизны; кормовая оконечность имеет транцевую форму; в кормовой оконечности расположены

С.В. Давыдова, И.В. Андриянов

Принципы систематизации судовой поверхности буксирных судов при разработке ...

туннели; переходы от днища к борту в «туннелях» плавные; развал бортов отсутствует; не килеватое (рисунок 4).

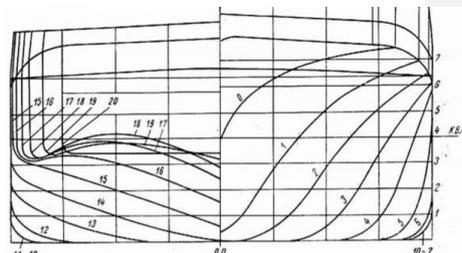


Рис. 4. Форма корпуса судна 3 группы

Результаты анализа сведены в таблицу 2, в которой представлены варианты буксирных судов, систематизированные по группам в соответствии с приведенными выше требованиями. В таблице указаны номера проектов судов и их характеристики. Группы 2 и 3 оказались многочисленнее, что облегчает дальнейший подбор корпусов для выполнения расчетов интерполяционным методом.

Таблица 2

Систематизация корпусов буксирных судов

Группа 1	Группа 2	Группа 3
№ пр. 10 з-да «Кр. Сормово», $\delta=0.645$	№ пр. 758В, $\delta=0.623$, $X_c=19.85$	№ пр. 749, $\delta=0.632$, $X_c=2.02$
№ пр. Т63, $\delta=0.46$, $X_c=-0.02$	№ пр. 758, $\delta=0.64$, $X_c=0.58$	№ пр. 1566, $\delta=0.565$
№ пр. 376, $\delta=0.47$	№ пр. 758АМ, $\delta=0.64$, $X_c=0.64$	№ пр. 911, $\delta=0.620$, $X_c=0.46$
	№ пр. 574, $\delta=0.525$, $X_c=0.55$	№ пр. 911В, $\delta=0.642$, $X_c=0.31$
	№ пр. 703, $\delta=0.645$	№ пр. 842, $\delta=0.557$
	№ пр. 758, $\delta=0.64$, $X_c=0.$	№ пр. 887, $\delta=0.512$, $X_c=0.68$
	№ пр. 45.599, $\delta=0.552$, $X_c=-0.59$	№ пр. Р-33, $\delta=0.575$, $X_c=-0.02$
		№ пр. 908 $\delta=0.587$ $X_c=0.64$
		№ пр. 947 $\delta=0.515$ $X_c=1.85$
		№ пр. 45.392-111-02 $\delta=0.609$, $X_c=-0.33$

Как было отмечено ранее, для более точного генерирования корпусов судов прототипы следует выбирать по заданным параметрам и форме корпуса. Коэффициент полноты водоизмещения прототипов, а также ордината центра величины должны удовлетворять условиям, описанным выше. Поясним на примере обоснование выбора четырех корпусов для интерполяции. Таким образом, в третьей группе судов прототипов из таблицы 2 четыре проекта соответствуют поставленным условиям, а именно – проект 908 ($\delta_1=0.587$, $x_{c1}=0.64$), проект Р-33 ($\delta_1=0.575$, $x_{c2}=-0.02$), проект 749 ($\delta_2=0.632$; $x_{c3}=2.02$) и проект 911 ($\delta_2=0.620$; $x_{c4}=0.46$).

На основании принятых для интерполяции проектов выполняется разработка корпуса буксирного судна с коэффициентом полноты водоизмещения и ординатой центра величины в диапазоне характеристик выбранных судов.

Заключение

В результате анализа судов, проходивших эксплуатацию при различных условиях плавания многие годы, были отобраны наиболее подходящие для обработки корпуса. Многообразие форм корпусов удалось привести к единому виду, включающему в себя особенности строения носовой и кормовой оконечности, что необходимо для проведения интерполяции и, как следствие, созданию нового корпуса. Представленная модель позволяет выполнить разработку поверхности в автоматизированном виде и расширять список судов для получения ординат теоретического чертежа. Результаты работы позволяют получить теоретический чертеж в кратчайшие сроки и могут использоваться как в учебном процессе, так и в научной работе.

Список литературы:

1. Давыдова С.В. Автоматизация генерации ординат теоретического чертежа интерполяционным методом «Вестник ВГАБТ» №56 2018.
2. Фомин Б. Rhinoceros. NURBS моделирование для Windows. Изд.: Robert McNeel & Associates 2006 289 с.
3. Фомин. Б. Справочное руководство по Rhinoceros 3D (Manual RUS). Изд.: Robert McNeel & Associates 2005 289 с.
4. David F. Rogers: An Introduction to NURBS with Historical Perspective, Morgan Kaufmann Publishers 2001.
5. Cliff W. Estes (BaseLine Technology), Rhinoceros Advanced Training Series. Marine Design (<http://www.yugzone.ru/x/rhinoceros-advanced-training-series/>)
6. Groot D.J. Desining curved surface with analitical functions. Computer Aided Desining, 1977, v/9, p. 3–8.
7. David F. Rogers: An Introduction to NURBS with Historical Perspective, Morgan Kaufmann Publishers 2001.
8. Groot D.J. Desining curved surface with analitical functions. Computer Aided Desining, 1977, v/9, p. 3–8.
9. Роннов Е.П., Любимов В.И. Особенности проектирования толкаемых составов внутреннего плавания. Методическое пособие. – Н. Новгород. Изд-во ГОУ ВПО ВГАБТ. 2003. – 32 с.
10. Ашик В.В. Проектирование судов / В.В. Ашик – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1985. – 318 с.
11. Ашик В.В. Интерполяционный способ построения теоретического чертежа. Судостроение, 1962, № 2, с. 9–11.
12. Богданов Б.В. Толкачи и баржи для толкания / Б.В. Богданов- Москва, 1959–239 с.
13. Богданов Б.В., Слуцкий А.В. и др. Буксирные суда. – Л.: Судостроение, 1974. – 280 с.
14. Богданов Б.В., Алчуджан Г.А. и др. Проектирование толкаемых составов и составных судов. – Л.: Судостроение, 1981. – 224 с.
15. Алчуджан Г.А. Мощные буксиры зарубежного флота-Информационный сборочник ЦНИИМФ, 1963, вып. 95, с 52–67.

PRINCIPLES OF THE TUGBOATS' SURFACE SYSTEMATIZATION IN THE DEVELOPMENT OF THEORETICAL DRAWING BY THE INTERPOLATION METHOD

Svetlana V. Davydova

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Ivan V. Andriyanov,

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The work is devoted to the issues of the tugboat's surface development by the interpolation method at the early design stages. The developed theoretical drawing of the tugboat's hull should correspond as much as possible to the specified parameters, namely, the calculated

values of the overall completeness ratio and the relative abscissa of the magnitude center. The principles of the approach to existing ship hulls' systematization are given and the possibility of their application for developing a theoretical surface with the specified parameters is evaluated. As a result of the analysis, systematization and selection of the most suitable hulls for processing were carried out. The variety of hull shapes has been successfully brought to a single system, which is necessary for interpolation, and consequently for creation of a new hull with the specified parameters. The adopted approach to the ship surface development can be used to automate the process of obtaining it.

Keywords: *interpolation method, overall completeness ratio, abscissa of the magnitude center, tugboat hull contours.*

References:

1. Davydova S.V. Automation of generation of ordinates of a theoretical drawing by interpolation method. «Vestnik VGAVT» №56, 2018.
2. Fomin B. Rhinoceros. NURBS Modeling for Windows Фомин Б. Rhinoceros. NURBS моделирование для Windows. Изд.: Robert McNeel & Associates 2006 289 p.
3. Фомин. Б. Справочное руководство по Rhinoceros 3D (Manual RUS). Изд.: Robert McNeel & Associates 2005 289 p.
4. David F. Rogers: An Introduction to NURBS with Historical Perspective, Morgan Kaufmann Publishers 2001.
5. Cliff W. Estes (BaseLine Technology), Rhinoceros Advanced Training Series. Marine Design (<http://www.yugzone.ru/x/rhinoceros-advanced-training-series/>.)
6. Groon D.J. Desinging curved surface with analitical functions. Computer Aided Desinging, 1977, v/ 9, p. 3–8.
7. David F. Rogers: An Introduction to NURBS with Historical Perspective, Morgan Kaufmann Publishers 2001.
8. Groon D.J. Desinging curved surface with analitical functions. Computer Aided Desinging, 1977, v/ 9, p. 3–8.
9. Ronnov E.P., Lyubimov V.I. Design features of pushed inland navigation compositions. Toolkit. – N. Novgorod. Publishing house GOU VPO VGAVT. 2003. – 32 p.
10. Ashik V.V. Proektirovanie sudov: Uchebnik. – 2-e izd., pererab. i dop. – L.: Sudostroenie, 1985. – 320 p.
11. Ashik V.V. Interpolation method of constructing a theoretical drawing. Shipbuilding, 1962, № 2, c. 9–11.
12. Bogdanov B.V. Pushers and barges for pushing / B.V. Bogdanov – Moscow, 1959-239 p.
13. Bogdanov B.V., Slutsky A.V. and other towing vessels. – L.: Shipbuilding, 1974. – 280 p.
14. Bogdanov B.V., Alchujan G.A. and others. Design of pushed convoys and compound ships. – L.: Shipbuilding, 1981. – 224 p.
15. Alchujan G.A. Powerful tugs of the foreign fleet – Information collection TsNIIMF, 1963, № 95, p 52–67.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Светлана Викторовна Давыдова, к.т.н., доцент, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5
e-mail: kaf_ptps@vsuwt.ru

Иван Валерьевич Андриянов, магистрант кафедры «Проектирования и технологии постройки судов», Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5
e-mail: kaf_ptps@vsuwt.ru

Svetlana V. Davydova, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Federal State-Financed Educational Institution of Higher Education Volga State University of Water Transport (VSUWT),

5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

Ivan V. Andriyanov, student of the Department of «Design and shipbuilding technology», Volga State University of Water Transport,

5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951,

Статья поступила в редакцию 06.05.2020 г.

ФОРМИРОВАНИЕ УСЛОВИЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ СУДНА

И.Б. Кочнева

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. Перед утилизацией судна решается большой ряд вопросов, отражающий экономические и технологические проблемы. В настоящее время целесообразность утилизации обосновывается снижением нагрузки на окружающую среду, так как суда в затопленном (брошенном) состоянии это, по своей сути, отход загрязняющий территорию и акваторию своего расположения, а собственник такого объекта обязан компенсировать вред окружающей среде в соответствии с существующими методами расчета и действующим законодательством. В настоящей работе рассмотрен учет вреда окружающей среде, как на этапе хранения судна, так и при непосредственной утилизации на предприятии. Автором предложено условие целесообразности утилизации, отражающее экологичность применяемой технологии, временные эффекты от хранения судна, как судна в целом, так и отходов после его разделки.

Ключевые слова: утилизация судна, экологический ущерб

Введение

Суда на протяжении всего жизненного цикла оказывают воздействие на окружающую среду (далее – ОС). При строительстве судна ущерб ОС возникает на судостроительных предприятиях при осуществлении технологических процессов постройки от выбросов загрязняющих веществ в воду, воздух, почву. Регулирование воздействия на ОС осуществляется установлением предельно допустимых выбросов и сбросов, платы за загрязнение, осуществлением природоохранных мероприятий.

В процессе эксплуатации судна возможно биохимическое воздействие на ОС, связанное с непосредственным внесением в природную среду (воздух, воду, почву) различных химических веществ и микроорганизмов, по причинам образования остатков экологически опасных грузов, разгерметизации корпуса судна при авариях, образования на судах хозяйственно-бытовых и нефтесодержащих сточных вод, мусора и пищевых отходов, отходов, образующихся в результате технического обслуживания судового оборудования, систем и механизмов, отработанных газов при сгорании топлива в судовых энергетических установках. Также суда являются источником внешнего шума и гидродинамического воздействия.

Оценка причинения вреда окружающей среде на этапах жизненного цикла судна

После окончания эксплуатационного срока службы судно переходит на следующий этап – утилизация, на котором тоже оказывают воздействие на ОС. Будем считать, что стадия утилизации начинается с выведения судна из эксплуатации и заканчивается разделкой судна на предприятии по утилизации. Судно, выведенное из эксплуатации, до разделки его на предприятии по утилизации, обычно отправляется в пункт отстоя. Для гарантии всесторонней безопасности, в том числе экологической, в пунктах отстоя существует ряд требований нормативных документов [1–3]. Для обеспечения экологической безопасности требуется поддержание судна на плаву, сохранение целостности слоя краски корпуса. Сохранение окрасочного покрытия позволяет сдерживать

процессы коррозии, в результате которых в водоем попадают продукты коррозии, ухудшающие качество ОС, а также снижать опасность разгерметизации корпуса, при возникновении которой не только продукты коррозии металлического корпуса, но и продукты деградации внутренних конструкций (из дерева, пластика, металла) оказываются в окружающей среде. Отрицательное влияние от разгерметизации судна может усугубиться, если внутренние емкости не будут зачищены от нефтепродуктов, перевозимых грузов.

Экологический ущерб, возникающий при выделении в ОС загрязняющих веществ, вызывающих ухудшение качества ОС, при ненадлежащем техническом состоянии во время отстоя, можно определить, например, с помощью метода обобщенных косвенных оценок:

$$Y = \sum_{i=1}^N H_i M_i k_i \quad (1)$$

где H_i – денежная оценка единицы выбросов, руб/т;

M_i – масса выброса i -го загрязняющего вещества, т;

k_i – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости региона.

Когда судно находится не на плаву (затоплено, полузатоплено, обсушено), экологический ущерб можно рассчитать по методике [4] как для отходов производства и потребления сброшенных и захороненных в водном объекте:

$$Y = H \cdot B \cdot k \quad (2)$$

где B – тоннаж брошенных судов и иных плавучих средств, их частей и механизмов, т.

Ущерб ОС во время транспортировки судна возникает при транспортном происшествии (посадки на мель, аварии, разгерметизации корпуса и т.п.), который весьма многообразный и не рассматривался автором.

После доставки судна на место утилизации, осуществляется разделка судна по разработанной и утвержденной технологии. Она обычно включает демонтаж оборудования, систем, механизмов, а затем разделку на элементы, которые могут, например, отправляться на вторичную переработку, реализовываться населению или захораниваться на полигонах. При этом применяемые в центре по утилизации технологии могут наносить ущерб ОС при образовании отходов, выбросов, сбросов в ОС [5–8]. Поэтому авторы считают целесообразным оценить процесс разделки судна по влиянию на ОС и соотнести ущерб от судна, находящегося на этапе хранения и его утилизации.

Разделка судна в центре по утилизации неизбежно связана с воздействием на окружающую среду [9–11]. Оно включает как вещества, используемые или образующиеся в процессе производства, так и потребление ресурсов. Воздействие производства на ОС происходит путем образования в результате осуществления технологических процессов отходов, выбросов и сбросов в среду. Практика дает основание утверждать, что нельзя полностью достичь организованного и регулируемого воздействия производства на ОС. Поэтому на любом производстве всегда будут неорганизованные и нерегулируемые источники воздействия на ОС.

Для определения масштабов загрязнения ОС используют метод составления материальных балансов. Составление и анализ системы материальных балансов позволяет оценить не только фактическое воздействие на ОС (контролируемое и неконтролируемое, регулируемое и нерегулируемое) по производству в целом. Оно дает и оценку отдельным источникам воздействия на среду, системам регулирования сброса и выброса загрязняющих веществ, системам размещения и удаления отходов.

Для целей оценки воздействия производства на ОС рассмотрим схемы материальных потоков для систем регулирования воздействия на ОС. Выделяют три основных типа систем регулирования воздействия:

- система регулирования сброса загрязняющих веществ;
- система регулирования выброса загрязняющих веществ;
- система размещения и удаления отходов.

Эти схемы позволяют наряду с номинальными потоками загрязняющих веществ, выделить и наиболее типичные организованные и неорганизованные разовые потоки (залповые, аварийные и «ночные»).

Согласно используемым схемам, основные уравнения материального баланса выглядят следующим образом [12]:

$$\begin{aligned} M_{ЗВ} &= M_C + M_B + M_O, \\ M_C &= M_{CKO} + M_{CKH} + M_{CНО} + M_{CHH}, \\ M_B &= M_{ВКО} + M_{ВКН} + M_{ВНО} + M_{ВНН}, \\ M_O &= M_{ОКО} + M_{ОКН} + M_{ОНО} + M_{ОНН}. \end{aligned} \quad (3)$$

Буквенные индексы уравнений соответствуют следующим условным обозначениям потоков: ЗВ – загрязняющие вещества, С – сбросы, В – выбросы, О – отходы, К – контролируемые потоки, Н – неконтролируемые потоки, О – организованные потоки, Н – неорганизованные потоки.

Данный подход в представлении потоков позволяет оценить фактические, декларируемые и нормируемые величины выбросов загрязняющих веществ. Практика дает основание утверждать, что величины этих потоков не являются одинаковыми.

На наш взгляд, экологически эффективная утилизация, возможна в том случае, если величина выбросов в ОС от технологических процессов разделки и дальнейшего обращения с образовавшимися отходами не превышает величину ущерба при хранении судна в условно неограниченный временной период, т.е.:

$$Y_{xp}^{\infty} > Y_{yt}, \quad (4)$$

где Y_{xp}^{∞} – ущерб от хранения судна, как отхода без его утилизации в условно неограниченный временной период;

Y_{yt} – ущерб от утилизации.

Первый вид ущерба можно представить следующим образом:

$$Y_{xp}^{\infty} = \sum_{t=1}^{\infty} \zeta_t Y_{xp_t}, \quad (5)$$

где Y_{xp_t} – ущерб от хранения судна, как отхода в некоторый t-ый год, определяемый по формуле (2), или в более общей форме, учитывая изменения денежного эквивалента, тоннажа судна и коэффициент экологической ситуации.

А именно:

$$Y_{xp_t} = H_t \times B_t \times k_t, \quad (6)$$

Изменение денежной оценки в простейшем случае может быть представлено как некоторая базовая ставка H_0 увеличенная на суммарный процент инфляций за t лет (e_t), т.е.:

$$H_t = H_0(1 + e_t). \quad (7)$$

Изменение тоннажа судна, а именно его массы, можно приближённо спрогнозировать по формуле:

$$B_t = B_0 \xi^t, \quad (8)$$

где B_0 – начальный тоннаж судна, т;
 ξ – доля снижения тоннажа за один год.

На коэффициент экологической ситуации влияет большое число факторов: хозяйственная деятельность в регионе, статус территории, в котором располагается судно, изменение места расположения судна в течении места хранения и т.п. Прогнозировать его изменение со временем крайне сложно, поэтому его целесообразно представить так:

$$k_t = k(t). \quad (9)$$

Таким образом, ущерб в любой период t может быть представлен:

$$Y_{xp_t} = H_0 B_0 (1 + e_t) \xi^t k(t). \quad (10)$$

А суммарный ущерб в условно неограниченный временной период:

$$Y_{xp}^{\infty} = H_0 B_0 \sum_{t=1}^{\infty} \zeta_t (1 + e_t) \times \xi^t \times k(t), \quad (11)$$

где ζ_t – коэффициент, учитывающий изменение общих подходов к оценке ущерба (изменение методик, наличие льгот для владельца, изменение уровня опасности отхода и т.п.).

Ущерб от утилизации, по мнению автора, в общем виде можно определить как:

$$Y_{ym} = M + Y_{XP_{отх}}^{\infty}, \quad (12)$$

где M – фактический ущерб окружающей среде от технологических процессов утилизации, определяемый в каждом конкретном случае на предприятии по утилизации, исходя из выбранных методов разделки судна, потоков загрязняющих веществ и т.д., в общем случае:

$$M = \eta B_0 m, \quad (13)$$

где η – экономический (денежный) коэффициент пропорциональности;
 m – доля веществ, образующих выбросы;

$Y_{XP_{отх}}^{\infty}$ – ущерб от хранения не утилизируемых отходов с судна в условно неограниченный временной период, который можно представить на долю λ от подобного ущерба всего судна:

$$Y_{XP_{отх}}^{\infty} = \sigma Y_{xp}^{\infty}. \quad (14)$$

Окончательно, эффективность утилизации может быть представлена следующим образом:

$$\eta < H_0 \frac{(1 - \sigma)}{m} \sum_{t=1}^{\infty} \zeta_t (1 + e_t) \times \xi^t \times k(t). \quad (15)$$

Заключение

Приведенные зависимости связывают наличие эффективности утилизации с некоторыми экономическими оценками вреда окружающей среде (η , η_0) и условными коэффициентами временного эффекта от хранения судна без утилизации.

Сложность дальнейшей оценки заключается в разнородности входящих в неравенство (15) величин. Очевидно, что при некотором t , наступит выполнение неравенства. Отсюда можно сделать вывод, что в долгосрочной перспективе утилизация судна эффективна. Однако наличие вероятностных коэффициентов ζ_i и $k(t)$, и стремящегося к нулю коэффициента ξ' (при $t \rightarrow 0$), может сделать ряд в правой части неравенства сходящимся, а следовательно и выполнение неравенства может не происходить и при больших временных интервалах.

Список литературы:

1. Технический регламент о безопасности объектов внутреннего водного транспорта [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 12.08.2010 N 623. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. ФАУ «Российский Речной Регистр». Правила классификации и постройки судов. Москва, 2019 г.
3. ФАУ «Российский морской регистр судоходства». Правила классификации и постройки морских судов. Санкт-Петербург, 2019 г.
4. Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства [Электронный ресурс] : Приказ Минприроды России от 13.04.2009 N 87. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Regulation (EU) No 1257/2013 of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013 on ship recycling and amending Regulation (EC) No 1013/2006 and Directive 2009/16/EC. – Режим доступа: http://www.safety4sea.com/images/media/pdf/EU_Ship-Recycling-Regulation.pdf
6. Resolution MEPC.196(62)-2011. Guidelines for the Development of the Ship Recycling Plan. – Режим доступа: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/resolution%20MEPC.196\(62\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/resolution%20MEPC.196(62).pdf)
7. Resolution MEPC.210(63)-2012. Guidelines for Safe and Environmentally Sound Ship Recycling. – Режим доступа: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/210\(63\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/210(63).pdf)
8. Resolution MEPC.211(63)-2012. Guidelines for the Authorization of Ship Recycling Facilities. – Режим доступа: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/211\(63\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/211(63).pdf)
9. Technical guidance note under Regulation (EU) No 1257/2013 on ship recycling. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52016XC0412%2801%29> (дата обращения – 02.07.2019).
10. Basel Convention, Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of the Full and Partial Dismantling of Ships (hereafter referred to as 'BC TG'), Section 4.5, pp. 63-64 and Section 6.2, pp. 84-88.
11. ILO, Safety and health in shipbreaking, guidelines for Asian countries and Turkey, 2004 (hereafter referred to as 'ILO SHG'), Section 4.6, p. 32 and Section 16, pp. 128–133.
12. Мазлова Е. А., Шагарова Л. Б. Экологические решения в нефтегазовом комплексе. – М.: Издательство «Техника». 000 «ТУМА ГРУПП», 2001. – 112 с.

CREATION OF A CONDITION FOR THE SHIP RECYCLING EXPEDIENCY

Irina B. Kochneva

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Before ship recycling, a large number of issues, reflecting economic and technological problems, are resolved. At present, ship recycling expediency is justified by reducing the burden on the environment, since submerged (abandoned) ships are, in essence, a waste polluting the territory and water area of their location; and the owner of such an object is obliged

to compensate for environmental damage in accordance with the existing calculation methods and current law. In this work, accounting for environmental damage both at the stage of ship's storage and direct disposal at the ship recycling company is considered. The author proposes the condition of recycling expediency, which reflects the environmental friendliness of the technology used, the time effects of ship's storage, both the ship as a whole and wastes after its cutting.

Keywords: ship recycling, environmental damage.

References:

1. Tekhnicheskiy reglament o bezopasnosti obektov vnutrennego vodnogo transporta. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 12.08.2010 N 623. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_103987/508f7e09909c5340bc754a03313ad7c93a4194f/ (Accessed on: 17.04.2020).
2. FAI «Russian River Register». Rules for the Classification and Construction. Moscow, 2019.
3. FAI « Russian Maritime Register of Shipping». Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships. Saint-Petersburg, 2019.
4. Ob utverzhdenii Metodiki ischisleniya razmera vreda, prichinennogo vodnym ob'ektam vsledstvie narusheniya vodnogo zakonodatel'stva. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 12.08.2010 N 623. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_88197/
5. Regulation (EU) No 1257/2013 of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013 on ship recycling and amending Regulation (EC) No 1013/2006 and Directive 2009/16/EC. – Режим доступа: http://www.safety4sea.com/images/media/pdf/EU_Ship-Recycling-Regulation.pdf (Accessed on: 27.04.2020).
6. Resolution MEPC.196(62)-2011. Guidelines for the Development of the Ship Recycling Plan. [Electronic resource] URL: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/RESOLUTION%20MEPC.196\(62\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/RESOLUTION%20MEPC.196(62).pdf) (Accessed on: 27.04.2020)
7. Resolution MEPC.210(63)-2012. Guidelines for Safe and Environmentally Sound Ship Recycling. [Electronic resource] URL: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/210\(63\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/210(63).pdf) (Accessed on: 27.04.2020).
8. Resolution MEPC.211(63)-2012. Guidelines for the Authorization of Ship Recycling Facilities. [Electronic resource] URL: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/211\(63\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/211(63).pdf) (Accessed on: 27.04.2020).
9. Technical guidance note under Regulation (EU) No 1257/2013 on ship recycling. [Electronic resource] URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52016XC0412%2801%29> (Accessed on: 27.04.2020).
10. Basel Convention, Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of the Full and Partial Dismantling of Ships (hereafter referred to as 'BC TG'), Section 4.5, pp. 63-64 and Section 6.2, pp. 84-88.
11. ILO, Safety and health in shipbreaking, guidelines for Asian countries and Turkey, 2004 (hereafter referred to as 'ILO SHG'), Section 4.6, p. 32 and Section 16, pp. 128-133.
12. Mazlova E.A., Shagarova L.B. Ekologicheskie resheniya v nefegazovom komplekse. – M.: Izdatel'stvo «Tekhnika». 000 «TUMA GRUPP», 2001. – 112 s.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ирина Борисовна Кочнева, к.т.н., доцент,
Волжский государственный университет
водного транспорта» (ФГБОУ ВО
«ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул.
Нестерова, 5
e-mail: iringre@mail.ru

Irina B. Kochneva, Ph.D. in Engineering Sci-
ence, Associate Professor, Federal State-Fi-
nanced Educational Institution of Higher Educa-
tion Volga State University of Water Transport
5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, Russia,
603951

Статья поступила в редакцию 30.04.2020 г.

УДК 629.128

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.78>

РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ СУДОСТРОЕНИЯ КАК ЭТАП ПОСТРОЕНИЯ «БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА»

Е.Г. Лебедева

Северный Арктический Федеральный Университет, Институт Судостроения и Морской Арктической Техники, г. Северодвинск, Архангельская область, Россия

Ю.Ю. Шванева

Северный Арктический Федеральный Университет, Институт Судостроения и Морской Арктической Техники, г. Северодвинск, Архангельская область, Россия

А.А. Волоцкой

Северный Арктический Федеральный Университет, Высшая школа экономики и управления, г. Архангельск, Россия

А.А. Сомпольцева

Северный Арктический Федеральный Университет, Институт Судостроения и Морской Арктической Техники, г. Северодвинск, Архангельская область, Россия

Аннотация. Рассматриваются пути внедрения основных принципов ведения «бережливого производства» на отдельных этапах судостроительного производства и на протяжении всего жизненного цикла изделий судостроения. Описываются основные потери, возникающие на этапе производства, а также пути совершенствования судостроительного производства и направления для решения некоторых задач минимизации потерь применительно к предприятиям судостроительной отрасли. В качестве примера используется применение CALS-технологий в процессе управления производством, проектирования объектов морской техники, связи между отдельными проектными организациями и судостроительным предприятием при создании комплексных проектов, а также пути реализации этой задачи как наиболее перспективной в мировой практике. Основной целью применения CALS в судостроении на всех этапах жизненного цикла изделия судостроения является создание единой информационной модели, стандартизация основных методов получения, хранения и интерпретации информации, защита, сертификация и лицензирование применяемой информации на всех этапах жизненного цикла изделий судостроения при помощи систем автоматизированного проектирования. В статье указаны основные цели и направления внедрения CALS-технологий как одного из этапов совершенствования процессов в рамках концепции бережливого производства. Рассмотрены пути минимизации потерь производства при разработке плазово-технологической документации и конструкторско-технологической подготовке производства, выпуска рабочей конструкторской документации. Показана цель создания 3D-макета корабля с использованием технологии объемного сканирования как средства обеспечения поддержки жизненного цикла изделий морской техники на этапах технического обслуживания, ремонта и модернизации. Перечислены основные способы реализации поставленных задач на судостроительном предприятии, рассматриваемые с позиций внедрения «бережливого производства», существенным условием для эффективного функционирования которого является совместное использование CALS-технологий на предприятиях судостроительной отрасли, предприятиях-контрагентах и в проектных организациях. Обозначена задача подготовки и переподготовки специалистов для судостроительной отрасли, обладающих соответствующими профессиональными компетенциями.

Ключевые слова: судостроение, судостроительное производство, бережливое производство, минимизация потерь, CALS-технологии в судостроении, электронная модель изделия, реинжиниринговые технологии, системы автоматизированного

проектирования, эффективность судостроительного производства, 3D-моделирование, 3D-сканирование, подготовка специалистов.

Введение

Судостроение является одной из самых высокотехнологичных отраслей, которая требует больших вложений в свое развитие и постоянное совершенствование всех этапов производства. Существует множество причин отставания российских судостроительных предприятий от передовых зарубежных верфей; одной из причин является отсутствие единой системы планирования и организации работы судостроительных предприятий. Устаревшая материально-техническая база современного судостроения в России требует больших вложений и обновления.

В настоящий момент процесс развития судостроения в России идет по направлению обновления предприятий в плане их управления, оснащения, переоборудования станочного парка, модернизации и замены действующей информационной системы. Развитие идет также за счет внедрения принципиально новых технологий в процессы проектирования, постройки, обеспечения взаимодействия проектных организаций и верфей в режиме реального времени, позволяющие упростить сервисное и эксплуатационное сопровождение судов [1].

Решением этих задач в судостроении может служить частичное внедрение принципов «бережливого производства» на примере судостроительных предприятий Японии, Кореи.

«Бережливое производство» представляет собой особенный стиль управления предприятием [2], при котором уровень решения производственных задач повышается за счет уменьшения потерь. По определению, потери – вид деятельности, которая потребляет какие-то ресурсы, но не создает реальной ценности [3]. Они возникают при нерациональном ведении производства [4] и связаны с:

- 1) затратами, возникающими при перемещении людей, деталей с неоправданными действиями оборудования или операторов, провоцирующими увеличение затрачиваемого времени и стоимости товара;
- 2) погрешностями пути транспортировки деталей и промежуточных изделий, вызывающими порчу, ожидание, потери;
- 3) погрешностями технологии изготовления деталей, сборки и сварки секций, приводящими к браку, переделкам, исправлениям;
- 4) переизбытком производства, что вызывает необходимость в учете, хранении готовой продукции;
- 5) ожиданием очередности изготовления промежуточных изделий, что также повышает итоговую стоимость;
- 6) дефектами изготовления деталей и изделий за счет нарушения требований конструкторской и технологической документации, которые становятся причиной для дополнительных расходов;
- 7) наличием излишка запасов, которые необходимо содержать в нужных условиях.

Применение «бережливого производства» в судостроении допустимо на всех стадиях жизненного цикла изделий судостроения: как при выполнении проектирования, постройки, сдачи, так и при последующей эксплуатации и сервисном обслуживании морской техники и утилизации.

Основным понятием концепции «бережливого производства» является ценность [5] – субъективное решение заказчика о том, что заказанное им изделие выполнено в полном объеме, качественно и вовремя. Также необходимо использовать следующие понятия бережливого производства: время такта, которое характеризует весь производственный временной период, затраченный на изготовление изделий и деленный на количество изготовленных изделий за этот период. В судостроении аналогичным понятием является срок постройки объекта. Следующее понятие «бережливого

производства» – реинжиниринговые технологии [6], характеризующие радикальное улучшение производственного процесса, минимизирующие потери производства.

Актуальность внедрения принципов «бережливого производства» в судостроении

Совершенствование процесса судостроительного производства на всех стадиях жизненного цикла изделий судостроения [7] связано с непрерывным улучшением производственного процесса с одновременным увеличением ценности и уменьшением потерь. Для этого необходимо стремиться избавиться от действий, снижающих ценность конечного изделия судостроения, в течение всего его жизненного цикла, что выражается не только в применении новейших технологий, это – способ управления судостроительным производством, максимально ориентированным на нужды страны. Обязательным условием совершенствования судостроительного производства является заинтересованность в процессе постройки и обеспечения дальнейшего сервисного сопровождения объекта морской техники сотрудников предприятия судостроителя [8].

Принципы «бережливого производства», применяемые в различных сферах, имеют ряд сложностей и должны быть адаптированы к условиям определенной отрасли [9].

В данном случае, основными принципами «бережливого производства», адаптированными к условиям судостроения являются:

- снижение нестабильности и негибкости применяемых решений, конструкций и технологий;
- постоянное совершенствование производственных процессов на всех этапах жизненного цикла изделий судостроения;
- активное участие сотрудников в процессе совершенствования производства [10];
- подготовка и переподготовка специалистов для судостроительной отрасли с востребованными работодателем компетенциями, включая опережающее обучение по перспективным технологиям.

Авторами статьи предлагается следующая концепция построения «бережливого производства» в судостроении:

- 1 этап – ознакомление персонала с принципами «бережливого производства»;
- 2 этап – внедрение принципов «бережливого производства» на рабочих местах;
- 3 этап – внедрение CALS-технологий (непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла изделий) при подготовке производства и сервисном обслуживании заказов;
- 4 этап – создание единого цифрового пространства отрасли: ЦКБ-предприятие-заказчик;
- 5 этап – создание эффективной многоуровневой системы подготовки кадров со специальными компетенциями.

Очевидным является то, что использование иностранного опыта в чистом виде, без учета менталитета и традиционных культурно-нравственных ценностей, а также принятых технологии и организации производства, невозможен. Требуется адаптация данного процесса, в первую очередь, через изменение сложившегося мышления и ясное осознание конечных целей преобразований. Однако данный аспект выходит за рамки рассматриваемых вопросов статьи и, возможно, будет изложен отдельно. В предложенном материале акцентируется внимание на 3-м этапе построения «бережливого производства».

Совершенствование производственных процессов на всех стадиях жизненного цикла изделий судостроения возможно за счет внедрения CALS-технологий, как способа повышения рентабельности и снижения потерь производства. Сейчас повсеместное внедрение CALS-технологий в судостроительной отрасли на отечественных предприятиях – это средство вхождения в мировую экономику, которое позволяет упростить внутреннюю и внешнюю промышленную кооперацию, увеличить качество построенных судов, сделать их конкурентоспособными, упростить механизм взаимных

расчетов между поставщиками и судостроительным заводом, усовершенствовать процесс управления судостроительным производством. Реализация уже первых шагов дает значительный эффект за счет сокращения сроков сдачи изделия заказчику, а также за счет повышения качества изделия.

Основным итогом внедрения CALS-технологий является повышение эффективности судостроительного производства путем общего ускорения процесса разработки и согласования технической документации. Создание электронной модели изделия позволяет в режиме реального времени вести инженерно-технические работы по выпуску изделия. При этом наличие электронной модели изделия позволяет сократить издержки производства и последующей эксплуатации изделия, повысить уровень сервиса и технического обслуживания в процессах ее эксплуатации [11]. Однако, как замечено в [12], одной из важных проблем современного судостроения, является управление конструкторской, технологической и производственной информацией на протяжении всего жизненного цикла изделий. Использование систем автоматизации для подготовки производства порождает проблемы обеспечения корректного их взаимодействия. В анализе, приведенном в [13], указаны также причины слабого распространения компьютерных технологий в управлении судоремонтным производством.

Таким образом, предметом CALS являются технологии информационного взаимодействия, общего использования, обмена информацией о судне или корабле, среде и процессах, выполняемых в ходе всех этапов жизненного цикла изделия судостроения [14].

Применение системы единой информационной модели на судостроительном заводе является основой CALS. Стандартизация способа получения, хранения и обработки информации, адекватности ее прочтения, метода защиты и лицензирования используемой информации на различных стадиях жизни судна или корабля, вплоть до утилизации, систем автоматизированного проектирования (CAD/CAM/CAE, MRP/ERP, PDM, PLM), позволяющих производить и обмениваться информацией через стандартные форматы [14], является основной задачей внедрения CALS-технологий в судостроении.

Ожидаемый эффект внедрения принципов «бережливого производства» в судостроении на основе CALS-технологий

Внедрение CALS-технологий на судостроительном предприятии позволяет:

- расширить области деятельности предприятия судостроительной отрасли за счет углубления взаимодействия с предприятиями – контрагентами, обеспечиваемыми стандартной формой представления информации на разных сроках постройки, сдачи и эксплуатации объекта морской техники;

- осуществить конструкторское сопровождение строительства в режиме «онлайн», а также обеспечить оптимальное взаимодействие производственных цехов и отделов с инженерными службами предприятия за счет использования электронной модели изделия [15];

- обеспечить преемственность результатов работы конструкторских организаций и отделов в процессе постройки, ремонта, модернизации и переоборудования уникальных проектов (при возможном изменении состава участников без потери достигнутых результатов) за счет упрощения процесса возможного обмена информацией и уменьшения потерь от внедрения безбумажного документооборота, вынужденного повторного ввода и последующей обработки информации [15];

- сделать «прозрачным» процесс управления постройкой и ремонтом судов за счет применения реинжиниринговых технологий путем применения 3D-модели судов и кораблей, выполняемых техпроцессов, сбалансировать этапы производственного процесса и сократить затраты в управлении производством;

- улучшить качество выпускаемой судостроительной продукции и конкурентоспособность судов, спроектированных и строящихся при помощи средств CALS при

имеющейся информационной поддержке, путем создания электронного документооборота на всех производственных процессах в период всего жизненного цикла судна, в том числе – на этапе его эксплуатации и сервисного обслуживания;

– сократить потери при производстве и уменьшить себестоимость сдаваемого судна или корабля;

– уменьшить сроки проектирования и постройки судна/корабля, его возможного дальнейшего переоборудования или модернизации, увеличить сроки реального времени «жизни» объекта, поддержания работоспособности при высоком качестве за счет обеспечения электронной поддержки во время эксплуатации [16].

Результаты

Основным результатом внедрения CALS-технологий в рамках концепции «бережливого производства» уже на некоторых этапах судостроительного производства является совершенствование производственных процессов. Успешная реализация программ внедрения CALS – технологий, утвержденных генеральным директором АО «ПО «Севмаш» с 2014 года, позволила освоить новые для предприятия направления использования информационных технологий.

Отработка рабочей конструкторской документации в процессе построения 3D-моделей и их корректировок по изменениям проектанта существенно сократила потери на исправление ошибок в конструкторской документации и создала условия для дальнейшего повышения эффективности процесса разработки плазово-технологической информации в электронном и традиционном бумажном видах (электронные эскизы деталей, карты технологической обработки деталей, карты раскроя, управляющие программы тепловой вырезки деталей, технологические процессы изготовления деталей корпуса судна, информация для обеспечения проверочных и разметочных работ при строительстве заказов, управляющие программы вычерчивания плазовой оснастки) [17].

Выполнение плазово-технологической подготовки производства на основе 3D-моделей корпуса корабля с использованием программного комплекса, обеспечивающего получение исходных данных из внешних проектирующих CAD/CAM-систем, ориентированного на особенности объектов подводного кораблестроения, настроенного на действующую технологию и организацию строительства заказов и интегрированного с базами данных предприятия, позволило значительно повысить эффективность процесса плазово-технологической подготовки корпусообработывающего производства. Результатами стали значительное сокращение сроков и затрат на данный вид подготовки производства, возможность практической реализации цифрового производства от 3D-моделей конструкций до управляющих программ тепловой вырезки деталей, автоматический выпуск всей технологической документации корпусообработывающего цеха. Приведенные достижения были обеспечены переходом на новые информационные технологии, направленные на сквозное использование цифровой информации об объекте производства на стадиях подготовки производства и в производственных процессах, автоматизацией процесса подготовки производства, созданием единой и удобной информационной среды для совместной работы специалистов различных функциональных подразделений предприятия.

Внедрение входного 3D-контроля рабочих чертежей изделий машиностроительной части сторонних разработчиков и предприятий контрагентов позволило создать отработку рабочей конструкторской документации сложных изделий машиностроения на электронных 3D макетах, что обеспечивает поиск ошибок в электронном виде и дает возможность исправления в процессе виртуальной сборки и проверки на работоспособность методом кинематического анализа еще до запуска изделия в производство.

Использование комбинированных технологий 3D-моделирования и 3D-сканирования позволяет осуществлять контроль за точностью и качеством изготовления судовых конструкций, размещения оборудования на строящемся объекте морской техники с

использованием технологии лазерного сканирования, выявлять технические проблемы на ранних стадиях постройки судна, а также сокращать затраты на переделки и потерю времени на ответственных этапах постройки судна.

Разработка электронного 3D-макета объекта морской техники «как построено» с использованием технологии объемного сканирования для обеспечения поддержки жизненного цикла судов на этапах технического обслуживания, ремонта и модернизации позволяет обеспечить сокращение эксплуатационных затрат, уменьшить продолжительность и стоимость технического обслуживания, ремонта и модернизации путем планирования и отработки на электронной модели изделия производственных операций, включая материально-техническое оснащение и материальное обеспечение, до начала этапа подготовительных заводских работ.

Заключение

Комбинированное использование технологий 3D-моделирования и 3D-сканирования в период с 2012 по настоящий момент в АО «ПО «Севмаш» позволило создать инфраструктуру, организовать подготовку кадров, в т.ч. с участием института судостроения и морской арктической техники и провести комплекс опытных работ для перехода к промышленному внедрению CALS-технологий на предприятии [18]. Проведенные мероприятия можно рассматривать как один из этапов внедрения «бережливого производства».

Для решения этой задачи на предприятии АО «ПО «Севмаш» были выполнены следующие мероприятия:

- подготовлены новые специалисты и переучены имеющиеся сотрудники.
- на рабочих местах инженеров-конструкторов и инженеров-технологов развернуты CAD, CAM – системы;
- обучены специалисты по 3D сканированию и закуплено оборудование, предназначенное для 3D сканирования со специальным программным обеспечением;
- разработана методическая база повсеместного применения CAD, CAM – систем на рабочих местах инженерно-технических работников;
- разработана концепция многоуровневой подготовки специалистов, обладающих профессиональными компетенциями в области информационных технологий поддержки жизненного цикла корабля и «бережливого производства».

Данный опыт внедрения информационных технологий как один из этапов «бережливого производства» можно распространить для применения на других предприятиях судостроительной отрасли, адаптировать под имеющиеся условия, создать собственную эффективную модель новой производственной системы.

Список литературы:

1. Развитие судостроения: перспективы отрасли. Источник: <https://delonovosti.ru/business/3976-razvitiie-sudostroeniya.html>
2. Dombrowski, U., Mielke, T.: Lean Leadership–Fundamental Principles and their Application. *Procedia CIRP* 7, 569–574 (2013). DOI: 10.1016/j.procir.2013.06.034.
3. Вумек П Джеймс., Джонс Дэниэл Т. Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании/пер. с англ.-2-е изд. – М.: Альпина Бизнес Букс., 2005. – 473 с.
4. Dombrowski, U., Zahn, T.: Design of a lean development framework. In: 2011 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), pp. 1917–1921 (2011). DOI: 10.1109/IEEM.2011.6118249.
5. Джордж М. Бережливое производство + шесть сигм. / пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2005 –
6. Михайлова М.Р. Устранение потерь – основа бережливого производства // Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы современного менеджмента». – Новосибирск: СибАК, 2010. – С. 11–15. 402 с.

7. Добротворский И.Л. Менеджмент. Эффективные технологии / Добротворский И.Л. – М.: Приор, 2002. – 462 с.
8. Losonci D., Demeter K., Jenei I.: Factors influencing employee perceptions in lean transformations. *International Journal of Production Economics* 131(1), 30–43 (2011). DOI: 10.1016/j.ijpe.2010.12.022.
9. Клочков Ю.П., «Бережливое производство»: понятия, принципы, механизмы // *Инженерный вестник дона*, 2012 №2 – С. 429–437.
10. Михайлова М.Р. Проблемы производительности труда и вовлечения персонала / Михайлова М.Р., Полинская М.М., Олинович Н.А // *Методы менеджмента качества*. – 2008. – №1. – С. 4–8.
11. Доросинский Л.Г., Зверева О.М. – Ульяновск: Зebra, 2016. – 243 с.
12. Лелюхин В.Е. Структурно-параметрическое пространство судовых конструкций и технологий в PLM-системах/ Лелюхин В.Е., Колесникова О.В. /*Вестник Инженерной школы ДВФУ*, 2019. – №1. – С. 1–9.
13. Роголин А.Г. Использование компьютерных технологий в управлении и организации производства в судоремонте/Роголин А.Г., Токликишвили А.Г.// *Инновационная наука*, 2015. – №7, – С. 58–61.
14. Шалумов А.С. Введение в CALS-технологии / Шалумов А.С., Никишкин С.И., Носков В.Н. – Ковров: КГТА, 2002. – 137 с.
15. Богданов В.И. Внедрение безбумажных технологий в АО «ПО «СЕВМАШ» / *Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства*. – 2018. – №50/51. – С. 103–107.
16. Грачева М.А. Приоритетные направления работ по стандартизации в области CALS/. Грачева М.А., Боброва А.А., Жирнова Е.А./ *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*, 2013. №. 9. – С. 292–293.
17. Будниченко М.А. Модернизация конструкторско-технологической подготовки производства и процессов строительства кораблей/ Будниченко М.А, Спиридонов А.Ю. / *Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова* – 2015. – №90. – С. 187–194.
18. Будниченко М.А. Формирование ИТ-инфраструктуры судостроительного предприятия в ходе модернизации / Будниченко М.А. Кунгуров В.Ю. / *Морские интеллектуальные технологии*, 2018. №4-4. – С. 175–185.

IMPLEMENTATION OF INFORMATION SUPPORT FOR THE SHIPBUILDING PRODUCTS LIFE CYCLE AS A STAGE OF CREATING «LEAN PRODUCTION»

Elena G. Lebedeva

Northern Arctic Federal University, Institute of Shipbuilding and marine Arctic Technology, Severodvinsk, Arkhangelsk region, Russia

Yuliya Yu. Shvaneva

Northern Arctic Federal University, Institute of Shipbuilding and marine Arctic Technology, Severodvinsk, Arkhangelsk region, Russia

Alexander A. Volotskoi

Northern Arctic Federal University, Higher school of Economics and management, Arkhangelsk, Russia

Anna A. Sompoltseva

Northern Arctic Federal University, Institute of Shipbuilding and marine Arctic Technology, Severodvinsk, Arkhangelsk region, Russia

Abstract. The ways of implementing the basic principles of «lean production» at certain stages of shipbuilding production and throughout the entire life cycle of shipbuilding products are considered. The article describes the main losses that occur at the production stage, as well as ways to improve shipbuilding production and directions for solving some problems of minimizing losses in relation to enterprises in the shipbuilding industry. The authors present an example of using CALS technologies in the process of production management, designing marine engineering facilities, communication between individual design organizations and the shipbuilding enterprise when creating complex projects; as well as ways to implement this task as the most promising in the world practice. The main purpose of using CALS in shipbuilding

at all stages of the life cycle of a shipbuilding product is to create a unified information model, standardize the main methods for obtaining, storing and interpreting information, protect, certify and license the information used at all stages of the life cycle of shipbuilding products using computer-aided design systems. The article describes the main goals and directions of implementing CALS technologies as one of the stages of improving processes within the framework of the lean production concept. The ways of minimizing production losses in the development of planning and technological documentation and design and technological production preparation, production of working design documentation are considered. The purpose of creating a 3D ship model using volumetric scanning technology as a means of supporting the life cycle of marine equipment products at the stages of maintenance, repair and modernization is shown. The authors list the main ways to implement the assigned tasks at the shipbuilding enterprise, considering them from the point of view of implementing «lean production»; and the essential condition for its effective functioning is the joint use of CALS technologies at the enterprises of the shipbuilding industry, contractors and design organizations. The task of training and retraining specialists for the shipbuilding industry with appropriate professional competencies is outlined.

Keywords: shipbuilding, shipbuilding production, lean production, loss minimization, CALS technologies in shipbuilding, electronic product model, reengineering technologies, computer-aided design systems, shipbuilding production efficiency, 3D modeling, 3D scanning, training of specialists.

References

1. The development of the shipbuilding industry: the industry Outlook. Source: <https://delonovosti.ru/business/3976-razvitie-sudostroeniya.html>
2. Dombrowski, U., Mielke, T.: Lean Leadership—Fundamental Principles and their Application. *Procedia CIRP* 7, 569–574 (2013). DOI: 10.1016/j.procir.2013.06.034
3. Wumek P James., Jones Daniel T. Lean manufacturing: how to get rid of losses and achieve prosperity of your company / TRANS. from English-2nd ed. – Moscow: Alpina Business books, 2005. – 473s.
4. Dombrowski, U., Zahn, T.: Design of a lean development framework. In: 2011 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), pp. 1917–1921 (2011). DOI: 10.1109/IEEM.2011.6118249
5. George M. Lean manufacturing + six Sigma. / per. s Engl. M.: Alpina Business books, 2005 –
6. Mikhailova M.R. Elimination of losses—the basis of lean production // *Mat-ly mezhdunar. scientific-practical Conf. «Actual problems of modern management»*. – Novosibirsk: Sibak, 2010. – P. 11–15. 402s.
7. Dobrotvorskyy I.L. Management. Effective technologies / Dobrotvorskyy I.L. – M.: Prior, 2002. – 462s.
8. Losonci, D., Demeter, K., Jenci, I.: Factors influencing employee perceptions in lean transformations. *International Journal of Production Economics* 131(1), 30–43 (2011). DOI: 10.1016/j.ijpe.2010.12.022.
9. Klochkov Yu.P., «Lean production»: concepts, principles, mechanisms // *Engineering Bulletin of the don*, 2012 no. 2-Pp. 429–437.
10. Mikhailova M.R. Problems of labor productivity and personnel involvement / Mikhailova M.R., Polynskaya M.M., Olinovich N.A. // *Methods of quality management*. – 2008. – № 1. – P. 4–8.
11. Dorosinsky L.G. Information technologies for product lifecycle support/ Dorosinsky L.G., Zvereva O. M. -Ulyanovsk: Zebra, 2016. – 243s.
12. Lelyukhin V.E., Kolesnikova O.V., Structural and parametric space of ship structures and technologies in PLM systems / *Vestnik of the FEFU Engineering school*, 2019. – no. 1. – Pp. 1–9.
13. Rogulin A.G. Use of computer technologies in management and organization of production in ship repair/Rogulin A.G., Toklikishvili A.G. // *Innovative science*, 2015, no. 7, Pp. 58–61
14. Shalumov A. S. Introduction to CALS technology / Shalumov A.S., Nikishkin S.I., Noskov V.N.-Kovrov: KGTA, 2002. – 137 p.
15. Bogdanov V.I. Introduction of paperless technologies in JSC «PO «SEVMASH» / *Scientific and technical collection of the Russian Maritime register of shipping*. – 2018. – №50/51. – Pp. 103–107.
16. Gracheva M. A. Priority directions of work on standardization in the field of CALS/. Gracheva M. A., Bobrova A. A., Zhirnova E. A. / *Actual problems of aviation and cosmonautics*, 2013. no. 9. – Pp. 292–293.

17. Budnichenko M.A. / Modernization of design and technological preparation of production and ship construction processes/ Budnichenko M. A., Spiridonov A. Yu. / Proceedings of the Central research Institute. Akad. A.N. Krylova-2015/ – №90. – P. 187–194.

18. Budnichenko M.A / Formation of it infrastructure of the shipbuilding enterprise during modernization/ Budnichenko M. a Kungurov V.Yu. / Marine intellectual technologies, 2018. no. 4-4 – With 175–185.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Лебедева Елена Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры кораблестроения, Институт Судостроения и Морской арктической Техники, филиал САФУ в г. Северодвинске, Россия, 164500, г. Северодвинск, ул. Капитана Воронина, 6а
e-mail: eg.lebedeva@narfu.ru

Шванева Юлия Юрьевна, кандидат технических наук, инженер-конструктор АО «ПО «Севмаш»
Россия, 164500, г. Северодвинск, Архангельская обл., Архангельское шоссе, 58
e-mail: yu.shvaneva@narfu.ru

Волоцкой Александр Анатольевич, аспирант, начальник отдела гарантии и сервиса подводных лодок АО «ПО «Севмаш»
Россия, 164500, г. Северодвинск, Архангельская обл., Архангельское шоссе, 58;
e-mail: sanvol29@yandex.ru

Сомпольцева Анна Александровна, аспирант САФУ, старший преподаватель, филиал САФУ в г. Северодвинске, Институт Судостроения и Морской арктической Техники
Россия, 164500, г. Северодвинск, ул. Капитана Воронина, 6а
e-mail: a.sompoltseva@narfu.ru

Lebedeva Elena, candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of shipbuilding Institute of Shipbuilding and Marine Arctic Technology, branch of the Northern Federal University in Severodvinsk, 6A, Kapitan Voronin st, Severodvinsk, 164500, Russia

e-mail: eg.lebedeva@narfu.ru
Shvaneva Yuliya, candidate of technical Sciences, engineer-constructor Place of work-JSC «PO «Sevmash»
58, Arkhangelsk highway, Severodvinsk, Arkhangelsk region, 164500, Russia,
e-mail: yu.shvaneva@narfu.ru

Volotskoi Alexander, post-graduate student, head of the Department of guarantee and service of submarines of JSC «PO «Sevmash»
58, Arkhangelsk highway, Severodvinsk, Arkhangelsk region, 164500, Russia,
e-mail: sanvol29@yandex.ru

Sompoltseva Anna, postgraduate of NARFU, senior lecturer the branch of NARFU, Severodvinsk Institute of Shipbuilding and Maritime Arctic engineering
6A, Kapitan Voronin st, Severodvinsk, 164500, Russia
e-mail: a.sompoltseva@narfu.ru

Статья поступила в редакцию 13.03.2020 г.

УДК 629.5.06: 628.16

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.79>

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СУДОВЫХ СИСТЕМ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Д.С. Мизгирев

Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4376-7159>

Н.М. Гурьянов

Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8910-2158>

Аннотация. В статье проведен обзор и анализ всех основных типов систем питьевой воды, применяемых в настоящее время на судах внутреннего и смешанного плавания: без обработки питьевой воды; с элементами обеззараживания и кондиционирования питьевой воды; с полной очисткой и обеззараживанием питьевой воды. Подробно рассмотрены принципы работы всех типов и конструкций систем питьевой воды, отмечены все преимущества и недостатки указанных систем. Особое внимание уделено станциям приготовления питьевой воды с использованием ламп ультрафиолетового излучения, которые существенно отличаются по технологическому процессу от большинства применяемых станций и обеспечивают гарантированное высококачественное обеззараживание питьевой воды, что позволяет выбрать наиболее перспективный тип станции и наметить план дальнейших работ по созданию новых и совершенствованию существующих станций.

Ключевые слова: система питьевой воды, приготовление питьевой воды, обеззараживание, водоснабжение судов, станции приготовления питьевой воды.

Введение

Приготовление питьевой воды (ПВ) из забортной непосредственно на судне с помощью станций приготовления питьевой воды (СППВ) является наиболее распространенным способом. Однако качество воды в большинстве судоводных водоемов настолько низкое, что для получения ПВ приходится улучшать все ее показатели – органолептические, химические и бактериологические в соответствии с требованиями ГОСТ 29183-91 «Вода для хозяйственно-питьевого обеспечения судов. Требования к качеству». Для получения ПВ из забортной необходим ряд мер по ее обработке, очистке и обеззараживанию. Судовая система питьевой воды (СПВ) представляет собой целый комплекс различного оборудования. В целях осуществления полноценного и безопасного водоснабжения на судах внутреннего и смешанного плавания применяются автономные СППВ, в основе которых используются процессы улучшения показателей качества ПВ – фильтрация, хлорирование или озонирование, обладающие рядом недостатков. Чтобы устранить эти недостатки, были разработаны станции приготовления питьевой воды, которые позволяют при обработке воды применять совместное использование УФ-излучения и озона, что в свою очередь, приводит в снижению дозы дезинфектанта в несколько раз.

Основные типы систем питьевой воды, применяемые на судах

ПВ на судах поступает к потребителям в камбузы, заготовочные, буфеты, бары, рестораны, столовые, посудомоечные, умывальники санузлов и кают, кипятильники,

души, бани и медицинские учреждения. Необходимое количество ПВ, по которому рассчитывается емкость танков ПВ и параметры СППВ, определяется минимальной нормой водопотребления одним человеком (членом экипажа, пассажиром) в сутки, приведенной в табл. 1 [1].

Следует отметить, что отраслевая документация регламентируют только наличие и особенности размещения отдельных элементов СПВ, но не определяет состав СППВ, технологии приготовления и кондиционирования ПВ (данное оборудование подлежит техническому наблюдению) [1, 2].

Таблица 1

Минимальные нормы водопотребления на судах внутреннего и смешанного (река-море) плавания

Тип судна	Группа судна, норма водопотребления, $\text{дм}^3/\text{чел}/\text{сут}$		
	I	II	III
Водоизмещающие суда			
– для экипажа	75	40	15
– для пассажиров	70	35	10
Суда с динамическим принципом поддержания и скоростные водоизмещающие суда			
– для экипажа	-	30	7
– для пассажиров	-	3	3

Варианты СПВ судна изображены на рис. 1.

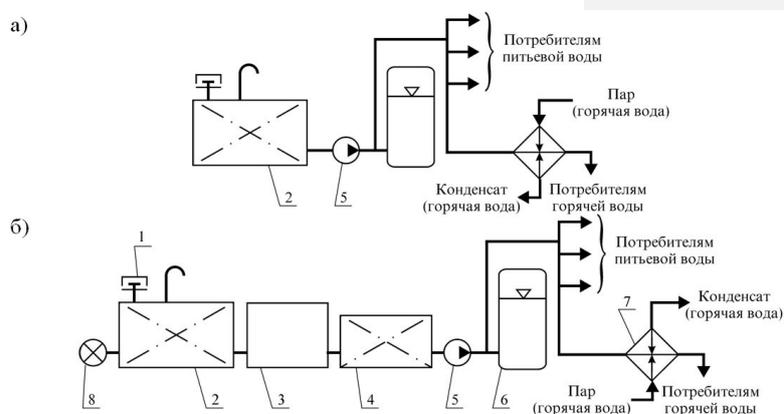


Рис. 1. Принципиальные схемы СПВ речного судна: а) СПВ без СППВ; б) СПВ с элементами обеззараживания и кондиционирования ПВ или СППВ; 1 – приемный патрубок; 2 – танк запаса воды; 3 – элементы обеззараживания и кондиционирования ПВ или СППВ; 4 – танк запаса ПВ; 5 – насос; 6 – гидрофор; 7 – теплообменник; 8 – кингстон забортной воды.

В настоящее время на судах применяются СПВ трех основных типов [3]:

- без обработки ПВ (без СППВ);
- с элементами обеззараживания и кондиционирования ПВ;
- с полной очисткой и обеззараживанием ПВ (с СППВ).

Первый тип СПВ применяется на сравнительно малых судах, техническом и вспомогательном флоте, где существует возможность частого пополнения запасов ПВ. Такая СПВ предельно проста и технически надежна. Однако снижающееся качество ПВ при хранении ограничивает автономность плавания плавсредств, создает предпосылки для нарушения санитарно-гигиенического и эпидемиологического режимов и гарантированно их срывает в случае бункеровки некачественной водой.

Части обозначенных недостатков лишены СПВ второго типа. Использование элементов обеззараживания и кондиционирования ПВ повышает санитарную надежность и безопасность. В зависимости от активного воздействия различают несколько основных разновидностей СПВ второго типа.

СПВ с хлорированием ПВ представлена на рис. 2 [4].

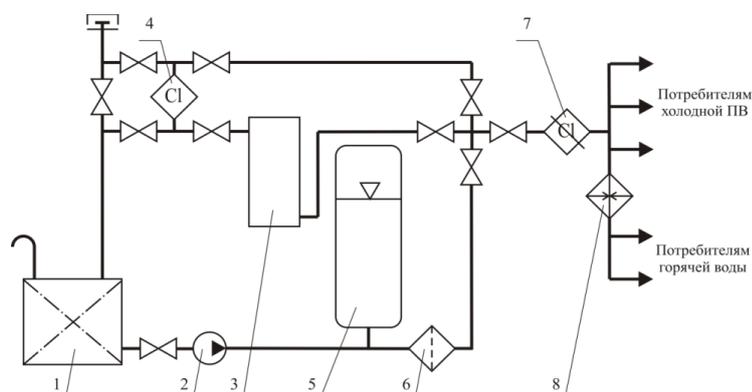


Рис. 2. Принципиальная схема СПВ с хлорированием ПВ

1 – танк запаса ПВ; 2 – насос; 3 – контактная емкость; 4 – хлоратор;
5 – гидрофор; 6 – взвешивающий фильтр; 7 – дехлоратор; 8 – водоподогреватель.

В сложных условиях обеззараживания воды на судне надежность обеззараживающего эффекта может быть достигнута только использованием заведомо повышенных доз хлора – гиперхлорирования. В этом случае необходимо удалить из обеззараженной ПВ его избыток. Для этого применяют химические (гипосульфитом натрия) или сорбционные (активированным углем) методы дехлорирования. Для судов выпускались хлораторные установки ОВХ-1 и хлоратор ХЛ-4 использующие раствор хлорной извести с фильтрами-дехлораторами ДХЛ-1, ДХЛ-2, ДХЛ-3. Это оборудование просто по конструкции, надежно в эксплуатации, имеет удовлетворительные массогабаритные показатели.

Кроме того, к недостаткам СПВ с хлорированием ПВ можно отнести отсутствие автоматизации и контроля фактической дозы активного хлора в обработанной воде, малый ресурс фильтра-дехлоратора, необходимость в реагентах и сменных загрузках [5].

Также ко второму типу СПВ относятся станции, использующие лампы УФ-излучения (УФЛ) (рис. 3) [4].

Такого рода СПВ отличаются эффективностью, простотой и надежностью, обладают удовлетворительными массогабаритными показателями и энергопотреблением, автоматизированы. На судах распространены как устаревшие бактерицидные установки «ОВ-П» с лампами БУВ-60П, «У» с излучателями HNS60 [5], так и современные «УОВ-М», «УДВ», «Кристалл-М» с ртутными и амальгамными лампами «SIEMENS», «VIRA» (Германия) [6–8].

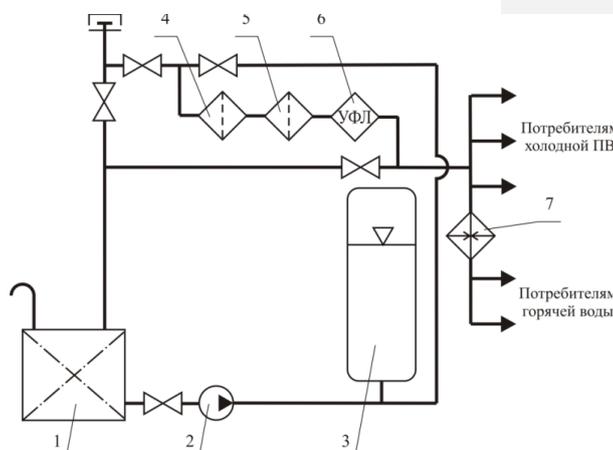


Рис. 3. Принципиальная схема СПВ с обработкой ПВ УФ-излучением
 1 – танк запаса воды; 2 – насос; 3 – гидрофор; 4 – взвесеулавливающий фильтр;
 5 – фильтр-дезодоратор; 6 – УФЛ; 7 – водоподогреватель.

К недостаткам этих СПВ относят необходимость в многоступенчатой фильтрации и дезодорации, износ ламп и пусковой аппаратуры при частых включениях и выключениях, что вызывает необходимость в сменных элементах.

Третьи СПВ второго типа используют ионизацию (рис. 4) [4].

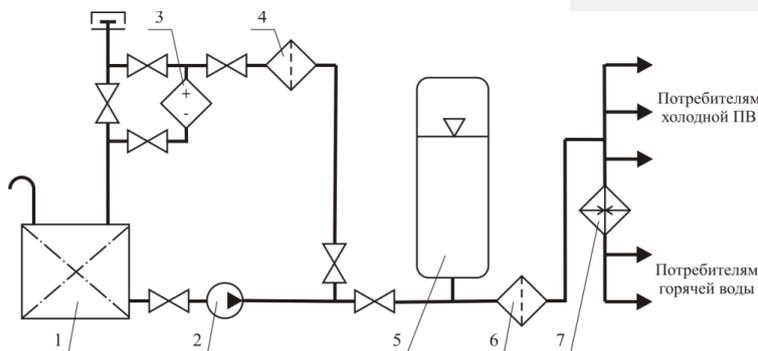


Рис. 4. Принципиальная схема СПВ с обработкой ПВ серебром
 1 – танк запаса воды; 2 – насос; 3 – ионизатор; 4 – взвесеулавливающий
 фильтр; 5 – гидрофор; 6 – фильтр десеребрения; 7 – водоподогреватель.

На судах применяют ионизаторы серебра производящие активные растворы путем анодного растворения металла. Используются приборы «ЛЖ», «ИЭМ», «ИМТ», «Вюсега» напорного типа, «IS» накопительного. Фильтры-электролизеры десеребрения воды ФЭМ-1, ФЭМ-3, ФЭМ-6 основаны на сорбции серебра гидроокисью алюминия, полученной путем анодного растворения алюминиевого электрода. [5, 9].

Системы отличаются надежностью, достаточной автоматизацией, малыми массогабаритными показателями и энергопотреблением.

Недостатками таких СПВ являются: отсутствие текущего контроля фактической дозы серебра в обработанной воде, ограниченный ресурс фильтра десеребрения, необходимость в дорогостоящих расходных электродах [5].

Системы питьевой воды с полной очисткой и обеззараживанием ПВ (с СППВ)

Наибольшую автономность судну и безопасность экипажу и пассажирам обеспечивают СПВ с СППВ. На флоте они эксплуатируются с 70-х гг. XX в. Встречаются системы как отечественной, так и зарубежной разработки, отличающиеся технологической схемой, методом обеззараживания и производительностью. Данные системы классифицируют как по возможности кондиционирования ПВ в СПВ, так и по методу обработки ПВ. В зависимости от способа обеззараживания ПВ на флоте встречаются три основных типа СППВ [10]:

- безреагентные (с дезинфекцией электролизом и УФ-излучением);
- реагентные (с бактерицидным хлорированием или йодированием);
- озонаторные (с обработкой высокоактивным окислителем – озоном).

СППВ первого типа разработки ЦКБ «Волгобалтсудопроект» и фирмы «Obuda» (Венгрия) устанавливались на судах различных проектов: пассажирских (№ 305, № 26-37 до модернизации), сухогрузных (№ 21-88, № 507, № 576), буксирах-толкачах (№ 112, № 749, № 758). Все они отличаются отсутствием возможности кондиционирования ПВ.

Принципиальная схема СПВ т/х пр. № 507 и № 758 с безреагентной СППВ представлена на рис. 5 [11].

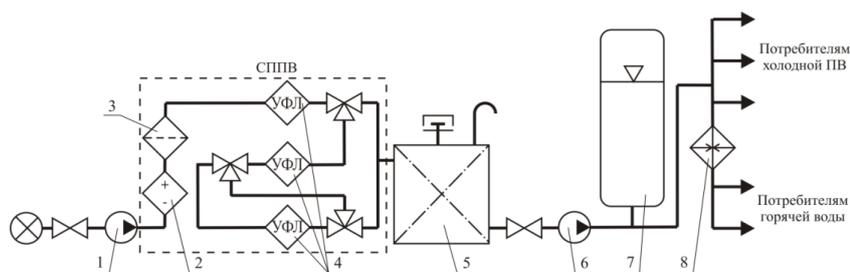


Рис. 5. Принципиальная схема СПВ с СППВ из забортной
и отсутствием кондиционирования ПВ

- 1 – насос забортной воды; 2 – электролизер; 3 – песчаный фильтр;
4 – блок УФЛ; 5 – накопительный танк ПВ; 6 – санитарный насос;
7 – гидрофор; 8 – водоподогреватель.

Применение безреагентного обеззараживания придает системе и судну высокую автономность [11]. Однако электролиза, фильтрации и УФ-излучения недостаточно для обеспечения санитарной надежности. Трудоемко и длительно техническое обслуживание таких СППВ.

В настоящее время в связи с проблемой качества бункеруемой ПВ широко распространены СПВ без кондиционирования приобретают все приведенные выше недостатки СПВ без СППВ.

Наиболее распространенным реагентом в СППВ второго типа является хлор. Такие СППВ разработки ЦТКБ, ГЦКБ МРФ и фирмы «VEB» (Германия) встречаются на пассажирских теплоходах проектов № 20, № 26-37, № 305, № 588, № 785.

Принципиальная схема СПВ с СППВ хлорированием жидким раствором гипохлорита натрия и отсутствием кондиционирования ПВ т/х пр. № 588 изображена на рис. 6 [11].

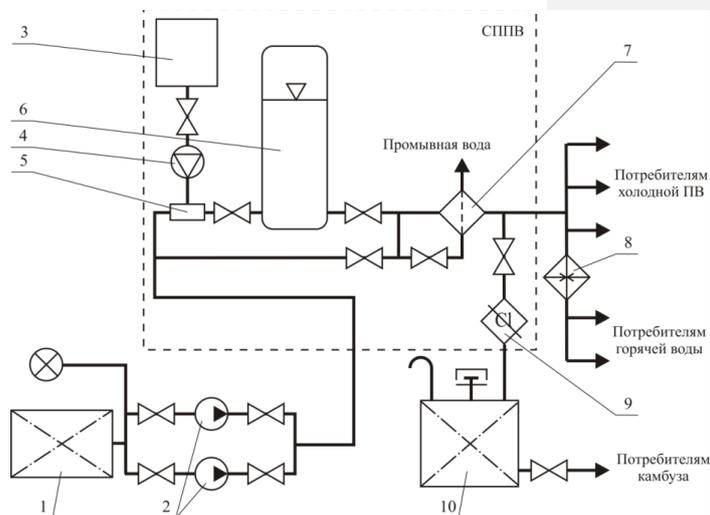


Рис. 6. Принципиальная схема СПВ с хлораторной СППВ из заборной, отсутствием кондиционирования ПВ и разделением потребителей
1 – танк заборной воды; 2 – насосы заборной воды; 3 – емкость гипохлорита натрия; 4 – насос-дозатор; 5 – смеситель; 6 – гидрофор; 7 – песчаный фильтр; 8 – водоподогреватель; 9 – дехлоратор; 10 – танк запаса ПВ.

Несмотря на простоту, низкую стоимость и малую энергоемкость, эти СППВ не удовлетворяют по указанным выше недостаткам хлорирования и отсутствия кондиционирования ПВ. Разделение СПВ на дехлорированную ПВ для приготовления пищи и гиперхлорированную «условную» ПВ, поступающую к потребителям в санузлы и каюты, вызывает риск отравления людей активным хлором и его соединениями. Использование гидрофора и песчаного фильтра в качестве контактных емкостей приводит к их коррозии, вызывающей необходимость в частых обслуживаниях и ремонтах.

Принципиальная схема модернизированной СПВ т/х пр. № 305 с хлораторной СППВ и возможностью кондиционирования с помощью рециркуляции представлена на рис. 7 [11].

В данной СПВ роль контактной емкости выполняет танк запаса ПВ. Возможность кондиционирования позволяет значительно увеличить срок хранения ПВ, однако качество ее невысоко. Кроме того, отсутствие дехлоратора приводит к сохранению приведенных выше недостатков СПВ.

Судовые СППВ с использованием йодирования разрабатывались ЦТКБ МРФ. Такие станции серийно не производились вследствие недостатков метода указанных выше [11], [5].

Приказ № 145-пр. от 15.02.73 г. Минздрава и Минречфлота СССР предписывает внедрение на судах речного флота озонаторных СППВ.

В настоящее время данные системы применяются практически на всем оборудованном СППВ серийном и несерийном флоте и используют единую технологическую схему «фильтрация» + «озонирование».

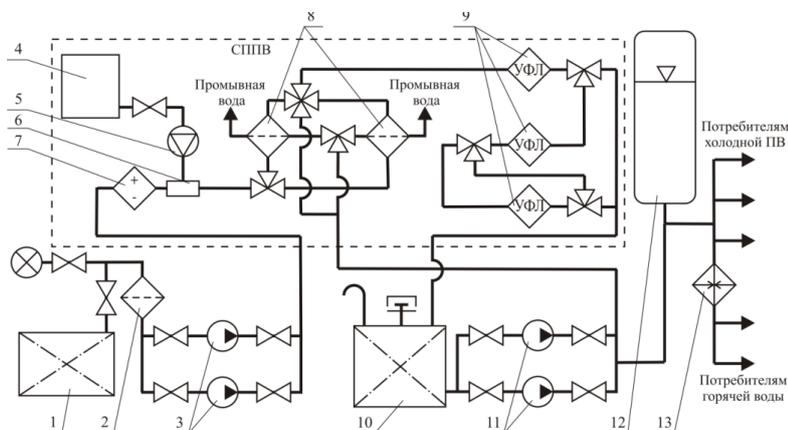


Рис. 7. Принципиальная схема СПВ с хлораторной СППВ из забортной и возможностью кондиционирования ПВ

- 1 – танк забортной воды; 2 – фильтр сетчатый; 3 – насосы забортной воды;
 4 – емкость гипохлорита натрия; 5 – насос-дозатор; 6 – смеситель;
 7 – электролизер; 8 – песчаные фильтры; 9 – блок УФЛ; 10 – танк запаса ПВ;
 11 – санитарные насосы; 12- гидрофор; 13 – водоподогреватель.

Наиболее распространенными СППВ Российского производства являются «Озон-0,1Т», «Озон-0,1УТ», «Озон-0,5 В, УТ», «Озон-4» разработки ГЦКБ МРФ с непосредственным озонированием (рис. 8) [4].

Преимуществом подобных систем является возможность приготовления ПВ из забортной, обработки бункеруемой с берега или судов-водолаев, а также кондиционирование запаса ПВ в течение рейса.

Из недостатков выделяют низкую надежность озонаторных агрегатов вследствие частого пробоя диэлектриков при поступлении влажного атмосферного воздуха или заброса воды при остановке станции [4]. Кроме того, протекание реакций окисления происходит непосредственно в накопительном танке ПВ. Это приводит к подаче ПВ с высокой концентрацией озона потребителям, что потенциально опасно для здоровья членов экипажа и пассажиров, вызывает интенсивное коррозионное разрушение элементов СПВ.

Активной модернизацией таких СППВ занимались ГЦКБ МРФ, ЦКБ «Волгобалтсудопроект», значителен вклад ФГБОУ ВО «ВГУВТ» (бывш. ГИИВТг). Под руководством д.т.н., проф. Этина В.Л. созданы станции «Озон-2П/0,75» и «Озон-6» (рис. 9).

СППВ отличаются косвенным методом обработки (обеззараживанием основного объема ПВ предварительно сильно озонированной водой), автоматической промывкой фильтра. Надежность озонатора повышена использованием сжатого воздуха из судовой системы, применено невозвратное устройство, предотвращающее заброс воды в озонирующие элементы (ОЭ). Благодаря наличию в составе СППВ дополнительных реакционных объемов (контактной колонны), а также отводу и повторному использованию непрореагировавшего озона в реакционной емкости повышается эффективность очистки воды [4]. Однако использование накопительной цистерны ПВ в качестве основного места обеззараживания вновь приводит к высокой концентрации активного окислителя в обработанной ПВ.

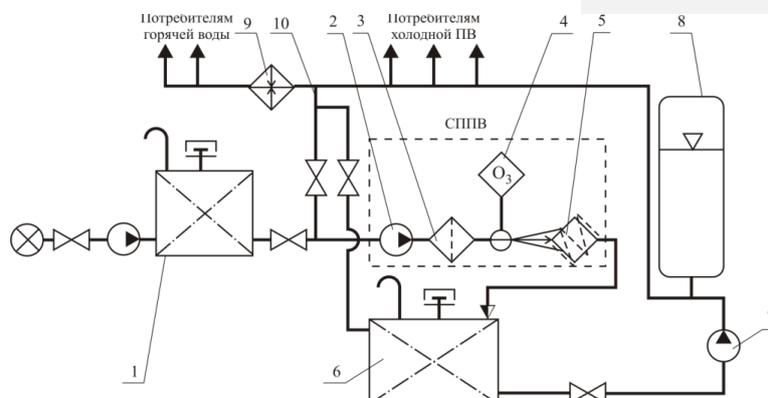


Рис. 8. Принципиальная схема СПВ с СППВ типа «Озон-0,5 УТ» с прямым озонированием и возможностью кондиционирования ПВ
 1 – танк запаса заборной воды; 2 – насос; 3 – фильтр; 4 – озонатор;
 5 – устройство обеззараживания; 6 – накопительный танк ПВ; 7 – санитарный насос; 8 – гидрофор; 9 – водоподогреватель; 10 – трубопровод циркуляции.

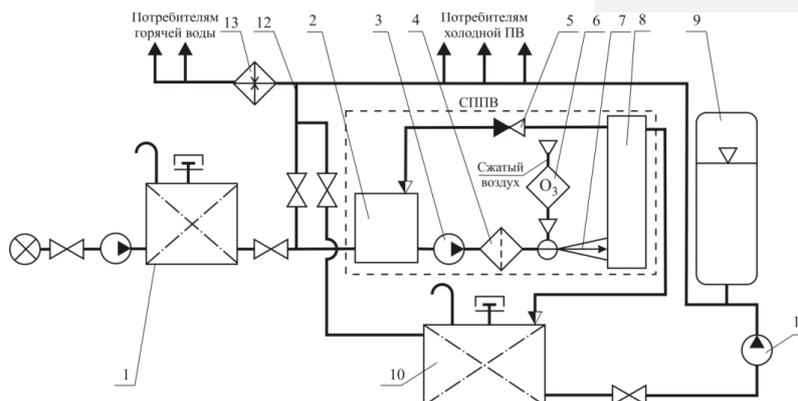


Рис. 9. Принципиальная схема СПВ с СППВ типа «Озон-2П/0,75» с косвенным озонированием и возможностью кондиционирования ПВ
 1 – танк запаса заборной воды; 2 – емкость реакционная; 3 – насос; 4 – фильтр;
 5 – устройство невозвратное; 6 – озонатор; 7 – эжектор; 8 – колонна контактная;
 9 – гидрофор; 10 – накопительный танк ПВ; 11 – санитарный насос;
 12 – трубопровод циркуляции; 13 – водоподогреватель.

Зарубежные производители эксплуатируемых в России озонаторных СППВ на судах германской и чешской постройки «Von-Ozone» и «MULTIZONE» (Германия) используют двухступенчатый ввод озона – до и после фильтрации воды. «Vran+Luebbe» (Германия) – коагуляцию, двухступенчатый ввод озона и косвенное обеззараживание (рис. 10) [12]. Такие судовые СПВ выполнены как без возможности кондиционирования ПВ, так и с ее рециркуляцией.

Данные СППВ отличаются сложностью конструкции, значительными габаритами, трудоемкостью и высокой стоимостью обслуживания и ремонта из-за применения дефицитных комплектующих (металлизированных диэлектриков ОЭ, проволочных конструкций). Контактные шлейфы изготовлены из труб сравнительно малого сечения,

склонны к коррозии и засорению, а использование косвенного обеззараживания сохраняет перечисленные выше недостатки [4].

Многочисленные исследования, проведенные Государственным санитарно-эпидемиологическим надзором, Роспотребнадзором РФ и специалистами ФГБОУ ВО «ВГУВТ» показали, что большинство применяемых СППВ не обеспечивают необходимого качества ПВ и санитарной надежности систем. Для их повышения Роспотребнадзором РФ рекомендовано дополнение эксплуатируемых СППВ лампами УФЛ [13–16].

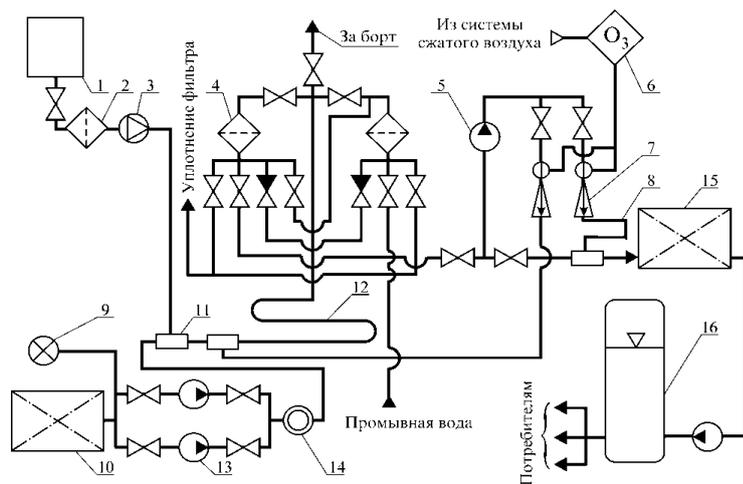


Рис. 10. СПВ с СППВ фирмы «Bran+Luebbe» с косвенным озонированием и отсутствием кондиционирования ПВ

- 1 – емкость коагулянта; 2 – фильтр сетчатый; 3 – насос-дозатор; 4 – фильтр песчаный; 5 – насос повышения давления; 6 – озонатор; 7 – эжектор;
 8 – контактный шлейф № 2; 9 – кингстон забортной воды; 10 – танк исходной воды;
 11 – смеситель реагента с водой; 12 – контактный шлейф № 1; 13 – насос забортной воды; 14 – расходомер; 15 – танк запаса ПВ; 16 – гидрофор.

Такие СППВ были созданы под руководством д.т.н., проф. ФГБОУ ВО «ВГУВТ» Курникова А.С. и выпускаются совместно с ООО «КОПРОТОН» под маркой «СППВ-В». Они существенно отличаются по технологическому процессу – реализуют предварительное непосредственное озонирование, фильтрацию и УФ-излучение (рис. 11) [17]. Особенности конструктивных решений позволили значительно уменьшить массогабаритные показатели и энергопотребление, повысить надежность, автоматизировать рабочий процесс. Наличие в составе станции контактного фильтра и деструктора непрореагировавшего озона позволяет применять высокую дозу дезинфектанта для гарантированного обеззараживания ПВ без опасности попадания окислителя в СПВ и к потребителям, исключить его токсическое действие на экипаж и пассажиров. Использование УФЛ не только обеспечивает высококачественное финишное обеззараживание, но и разложение остаточного растворенного озона. Это снижает коррозионную активность воды и износ СПВ в целом.

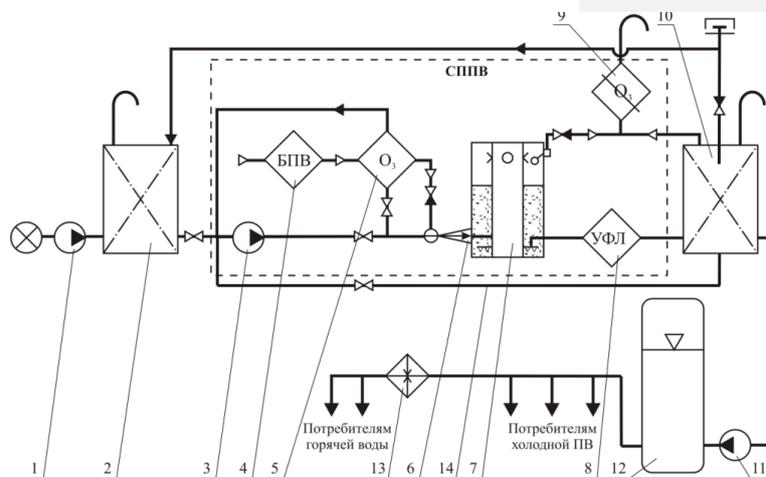


Рис. 11. СПВ с СППВ марки «СППВ-5В» с прямым озонированием, деструкцией остаточного озона и возможностью кондиционирования ПВ

- 1 – насос заборной воды; 2 – танк запаса заборной воды; 3 – насос;
4 – блок подготовки воздуха (БПВ); 5 – озонатор; 6 – эжектор; 7 – фильтр контактный;
8 – УФЛ; 9 – деструктор озона; 10 – накопительный танк ПВ; 11 – санитарный насос;
12 – гидрофор; 13 – водоподогреватель; 14 – трубопровод циркуляции.

Сложность конструкции, применение антикоррозионных материалов (нержавеющих сталей и озоностойких пластмасс) влекут за собой высокую стоимость СППВ. Минимальные зазоры в ОЭ повышают трудоемкость технического обслуживания и ремонтов, расходные материалы – стеклянные диэлектрики склонны к выщелачиванию.

Заключение

Рассмотренные в статье технологические и конструктивные недостатки существующих СПВ явились поводом для поиска новых подходов к комплексному решению проблемы приготовления ПВ для судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания. Современные судовые СПВ требуют дальнейшего совершенствования и модернизации как отдельных узлов так и СППВ в целом.

Список литературы:

1. Суда внутреннего и смешанного (река-море) плавания. Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.5.2-703-98. – М.: Минздрав России, 1998. – 144 с.
2. Российский Речной Регистр. Правила (в 6-х томах). – Т 4, Правила классификации и постройки судов (ПКПС). – М.: Российский Речной Регистр, 2019 – 1506 с.
3. Этин В.Л. Основы проектирования комплекса систем водоснабжения судов внутреннего и смешанного плавания: Автореф. дисс. докт. техн. наук. – Л, 1985. – 44 с.
4. Водоснабжение судов внутреннего и смешанного плавания: Учеб. пособие / В.Л. Этин, А.С. Курников, В.Н. Старостин. – Горький: ГИИВТ, 1985. – 62 с.
5. Тихомиров Г.И. Технология обработки воды на морских судах: Курс лекций: Учеб. пособие для курсантов и студентов морских специальностей. – Владивосток.: Мор. гос. ун-т, 2013. – 159 с.
6. Установки обеззараживания воды. Каталог оборудования НПО «ЭНТ». – С.Петербург, НПО «ЭНТ», 2019. – 142 с.; ил.
7. Оборудование. УФ-системы обеззараживания воды. Каталог оборудования НПО «ЛИТ». – М., НПО «ЛИТ», 2020. – 18 с.; ил.

8. Обеззараживание питьевой воды. Каталог оборудования НПО «Кристалл». – М.: НПО «Кристалл», 2020. – 18 с.; ил.
9. Rami Pedahzur, Ovadia Lev, Badri Fattal and Hillel I. Shuval The interaction of silver ions and hydrogen peroxide in the inactivation of E. coli: a preliminary evaluation of a new long acting residual drinking water disinfectant // Water Science and Technology. – Vol. 31. – № 5–6, 1995. – pp. 123–129.
10. Чиняев И.А. Судовые системы: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1984. – 216 с.
11. Барац В.А., Николаев М.В., Эльпинер Л.И. Водоснабжение судов речного флота. – М.: Транспорт, 1974. – 144 с.
12. Курников А.С., Мизгирев Д.С., Михеева Т.А. Научное обоснование технических решений создания и совершенствования природоохранного оборудования для водного транспорта и предприятий речного флота: монография / А.С. Курников, Д.С. Мизгирев, Т.А. Михеева – Н.Новгород: изд-во ФБОУ ВПО ВГАВТ, 2017. – 436 с.; ил.
13. Курников А.С., Пятунин С.П. Испытания и наладка станций ППВ типа «Озон» на действующем флоте в навигацию 1979 г. // Проблемы речного транспорта. Тез. докл. Материалы XXII НТК проф. преп. состава. – Горький: ГИИВТ, 1980. – С. 123–124.
14. Этин В.Л., Баранов А.Л. Причины неудовлетворительной работы станций «Озон» // Речной транспорт, 1980. – № 2. – С. 29.
15. Васькин С.В. Проектирование судовых систем приготовления питьевой воды с управляемым технологическим процессом: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Н.Новгород, 2000. – 22 с.
16. Материалы совещания «Анализ санитарно-эпидемиологической ситуации на флоте судовладельцев Нижегородской области за навигацию 2018 г. и подготовка к навигации 2019 г.» в Управлении Роспотребнадзора РФ по Нижегородской области. 15.02.2019 г.
17. Станция приготовления питьевой воды «СППВ-5В». Техническое описание и инструкция по эксплуатации ОУ.5–ГО. – Н.Новгород: ВГАВТ, 2005 – 24 с.
18. Курников А.С. Исследование и разработка методики проектирования судовых систем приготовления озона: автореф. дис... канд. техн. наук. / А.С. Курников – Л., 1985. – 22 с.
19. Мизгирев Д.С., Гурьянов Н.М. Анализ загрязнений вод из подземных и поверхностных источников, используемых в целях питьевого и технического водоснабжения / Д.С. Мизгирев, Н.М. Гурьянов. Труды международного научно-практического форума «Великие реки – 2018»: Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек – Труды конгресса. Выпуск 7: электрон. ресурс. – ISBN 978-5-901772-60-2 – Н. Новгород: ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2018. Св-во о рег-ции: Эл № ФС77-52022 от 29.11.2012 г. Режим доступа: <http://vf-река-море.рф> свободный – Загл. с экрана. – яз. рус., англ – 0,55 п.л.
20. Руководство по обеспечению качества питьевой воды: 4-е изд. [Guidelines for drinking-water quality – 4-th ed.]. Женева: Всемирная организация здравоохранения; 2017 г. – 628 с.
21. Вода для хозяйственно-питьевого обеспечения судов. Требования к качеству: ГОСТ 29183-91. – Введ. 01.01.1993. – М.: ИПК изд-ва стандартов, 1999. – 6 с.
22. Singel P. C. Assessing ozonation research needs in water treatment// American Water Works Association Journal, 1990. – Vol.82. – N10. – pp. 78–88.
23. Crasso D., Weber W.J., De Kam J.A. Effects of preoxidation with ozone on water quality: a case study//American Water Works Association Journal, 1989. – Vol.81. – N6. – pp. 85–92.

ANALYSIS OF TECHNICAL SOLUTIONS FOR SHIP POTABLE WATER SYSTEMS

Dmitriy S. Mizgirev,

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Nikolay M. Guryanov,

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article provides an overview and analysis of all main types of potable water systems currently used on inland and mixed navigation vessels: without potable water treatment; with elements of potable water disinfection and conditioning; with complete purification and disinfection of potable water. The operation principles of potable water systems of all types and designs are considered in detail, all the advantages and disadvantages of these systems are noted. Special attention is paid to stations for preparing potable water by using UV lamps, which essentially differ in the technological process from most of the stations used, and

provide guaranteed high-quality disinfection of potable water, which allows to choose the most promising station type and outline a plan for further work on creating new and improving existing stations.

Keywords: potable water system, potable water preparation, disinfection, ship water supply, stations of potable water preparation.

References:

1. Suda vnutrennego i smeshannogo (reka-more) plavaniya. Sanitarnye pravila i normy: SaNPIN 2.5.2-703-98. – M.: Minzdrav Rossii, 1998, 144p.
2. Rossiiskii Rechnoi Registr. Pravila (v 6 tomakh). T 4, Pravila klassifikatsii i postroiki sudov (PKPS). – M.: Rossiiskii Rechnoi Registr, 2019, 1506p.
3. Ehtin, V.L. Osnovy proektirovaniya kompleksa sistem vodosnabzheniya sudov vnutrennego i smeshannogo plavaniya: Avtoref diss. dokt. tekhn. nauk. – L., 1985 44p.
4. Ehtin, V.L., A.S. Kurnikov, V.N. Starostin. Vodosnabzhenie sudov vnutrennego i smeshannogo plavaniya: Ucheb. posobie, Gor'kii: GIIVT, 1985. 62p.
5. Tikhomirov, G.I. Tekhnologiya obrabotki vody na morskikh sudakh: Kurs lektsii: Ucheb. posobie dlya kursantov i studentov morskikh spetsial'nostei. – Vladivostok.: Mor. gos. un-t, 2013. 159p.
6. Ustanovki obezrazhivaniya vody. Katalog oborudovaniya NPO «EHNT». – S.Peterburg, NPO «EHNT», 2019. 142p.
7. Oborudovanie. UV-sistemy obezrazhivaniya vody. Katalog oborudovaniya NPO «LIT». – M.:, NPO «LIT», 2020. 18p.
8. Obesrazhivanie pit'evoi vody. Katalog oborudovaniya NPO «KristalL». – M.:, NPO «KristalL», 2020. 18p.
9. Rami Pedahzur, Ovadia Lev, Badri Fattal and Hillel I. Shuval «The interaction of silver ions and hydrogen peroxide in the inactivation of E. coli: a preliminary evaluation of a new long acting residual drinking water disinfectant» *Water Science and Technology*. 31/ 5–6 (1995): 123–129. <https://doi.org/10.2166/wst.1995.0579>
10. Chinyayev, I.A. Sudovye sistemy: Ucheb. dlya vuzov. – 3-e izd., pererab. i dop. – M.:Transport, 1984. 216p.
11. Barats, V.A., Nikolaev M.V., Ehl'piner L.I. Vodosnabzhenie sudov rechnogo flota. – M.: Transport, 1974. 144p.
12. Kurnikov, A.S., Mizgirev D.S., Mikheeva T.A. Nauchnoe obosnovanie tekhnicheskikh reshenii sozdaniya i sovershenstvovaniya prirodookhrannogo oborudovaniya dlya vodnogo transporta i predpriyatii rechnogo flota: monografiya. N.Novgorod: izd-vo FBOU VPO VGAVT, 2017. 436p.
13. Kurnikov A.S., S.P. Pyatunin «Ispytaniya i naladka stantsii PPV tipa «OzoN» na deistvuyushchem flote v navigatsiyu 1979 g» (Testing and commissioning of drinking water preparation stations of the «Ozone» type in the current fleet during the navigation of 1979.) *Problemy rechnogo transporta. Tez. dokl. Materialy XXII NTK prof.-prep. sostava.* – Gor'kii: GIIVT, (1980): 123-124.
14. Ehtin V.L., A.L. Baranov «Prichiny neudovletvoritel'noi raboty stantsii «Ozon» (The reasons for the unsatisfactory operation of the stations «Ozon») *Rechnoi transport 2*, (1980): 29.
15. Vaskin S.V. Proektirovanie sudovykh sistem prigotovleniya pit'evoi vody s upravlyаемым tekhnologicheskim protsessom: Avtoref diss. kand. tekhn. nauk. – N.Novgorod, 2000. 22 p.
16. Materialy soveshchaniya «Analiz sanitarno-ehpidemiologicheskoi situatsii na flote sudovladel'tsev Nizhegorodskoi oblasti za navigatsiyu 2018 g. i podgotovka k navigatsii 2019 g.» v Upravlenii Rospotrebnadzora RF po Nizhegorodskoi oblasti. 15 Dec. 2019.
17. Stantsiya prigotovleniya pitevoi vody «SPPV-5V». Tekhnicheskoe opisaniye i instruktsiya po ehkspluatatsii OU.5–TO. N.Novgorod: VGAVT, 2005 24p.
18. Kurnikov A.S. Issledovanie i razrabotka metodiki proektirovaniya sudovykh sistem prigotovleniya ozona: avtoref dis... kand. tekhn. nauk. – L., 1985. 22p.
19. Mizgirev D.S., N.M. Guryanov. Analiz zagryaznenii vod iz podzemnykh i poverkhnostnykh istochnikov, ispolzuemykh v tselyakh pitevogo i tekhnicheskogo vodosnabzheniya. *Trudy mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma «Velikie reki – 2018»: Problemy ispolzovaniya i innovatsionnogo razvitiya vnutrennikh vodnykh putei v basseinakh velikikh rek – Trudy kongressa.* Vypusk 7 – N. Novgorod: FGBOU VO «VGUVT», 2018. < <http://www.vfp-peka-mope.pdf/> > Web. 10 Apl. 2020.
20. Rukovodstvo po obespecheniyu kachestva pit'evoi vody: 4-e izd. [Guidelines for drinking-water quality – 4-th ed.]. Zheneva: Vsemirnaya organizatsiya zdravookhraneniya; 2017 628p.

21. Voda dlya khozyaistvenno-pit'evogo obespecheniya sudov. Trebovaniya k kachestvu: GOST 29183-91. – Vved. 01.01.1993. – М.: ИПК изд ва standartov, 1999 6р.
22. Singel P.C. «Assessing ozonation research needs in water treatment» American Water Works Association Journal 82.10 (1990) 78-88.
23. Crasso D., Weber W.J., De Kam J.A. «Effects of preoxidation with ozone on water quality: a case study» American Water Works Association Journal 81.6 (1989): 85-92.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Мизгирев Дмитрий Сергеевич, д.т.н., доцент, профессор кафедры подъемно-транспортных машин и машиноремонта, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: mizgirevds@yandex.ru

Гурьянов Николай Михайлович, начальник отдела информационно-технической поддержки, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: gurnikol@yandex.ru

Dmitriy S. Mizgirev, Doctor of Technical Sciences, associate Professor, Professor of the Department of Lifting and Transport Machines and Machine repair, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951.

Nikolay M. Guryanov, Head of Information and Technical support Department, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 07.05.2020 г.

УДК 556.044

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.80>

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА ФОНЕ ЭВТРОФНОЙ ВОДЫ В УСЛОВИЯХ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ

А.А. Мольков

Институт прикладной физики Российской академии наук,

г. Нижний Новгород, Россия

Волжский государственный университет водного транспорта,

г. Нижний Новгород, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8550-2418>

В.В. Пелевин

Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук,

г. Москва, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6016-8970>

Аннотация. В работе представлены результаты натурного исследования флуоресценции веществ загрязнителей (дизельного топлива и нефти марки Urals), а также спиртового раствора олеиновой кислоты, имитирующей нефть по вязко-упругим характеристикам. Для этого на Горьковском водохранилище в условиях ветрового волнения создавались локальные области искусственных поверхностных загрязнений (сликов), последовательно пересекаемые под различными углами к ветру и волнению при непрерывном лидарном зондировании верхнего водного слоя. Регистрация сигналов осуществлялась лазерным ультрафиолетовым флуоресцентным лидаром девятого поколения УФЛ-9 разработки Института океанологии РАН. В ходе анализа сигналов были установлены спектральные интенсивности и особенности флуоресценции исследуемых веществ, даны оценки возможности обнаружения веществ на фоне эвтрофной воды, обнаружены загрязнения в той части взволнованной водной поверхности, где визуальное наблюдение загрязнителей не дает результата, а также качественно проанализированы возможности оценки толщин пленок. Полученные результаты полезны для дальнейшего развития флуоресцентных методов и средств оперативного дистанционного мониторинга опасных загрязнений водоема.

Ключевые слова: флуоресценция, лидарное зондирование, слики, антропогенные загрязнения, нефть, дизель, ветровое волнение, внутренние водоемы

Введение

Важным индикатором антропогенных загрязнений водоема (отходы промышленных предприятий, бытовые сточные воды, сбросы и утечки нефтепродуктов) являются слики (участки поверхности с пониженной интенсивностью мелкомасштабных волн), в подавляющем большинстве связанные с пленками поверхностно-активных веществ (ПАВ) на водной поверхности. Исследование сликов относится к трудным задачам по целому ряду причин: разнообразию состава и физических свойств ПАВ, неоднородность распределения по поверхности, влияние внешних факторов (волнение, течения), условия освещения, геометрия наблюдения и прочие.

В настоящее время слики наблюдаются с помощью средств дистанционного зондирования космического, судового, авиа или берегового базирования, позволяя получать предварительную информацию о веществе пленки, ее толщине, площади покрытия и динамике распространения [1, 2]. Наиболее информативными являются оптические методы, включающие в себя анализ изображений ультрафиолетового (УФ), видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов, а также методы лидарного зондирования верхнего

водного слоя. Первое направление получило широкое распространение в связи с развитием спутникового зондирования и зачастую применяется при анализе толстых (от сотен микрон) нефтяных пленок, возникших при крупных авариях на танкерах или нефтяных платформах (см, например, обзоры [1, 2] и процитированную там литературу). Второе направление в 70–80-е годы прошлого столетия было широко представлено авиационными лидарами дальнего ИК-диапазона, которые также использовались для обнаружения толстых нефтяных пленок и оценки их толщины [3–5]. Однако, сегодня особое внимание уделяется флуоресцентным лидарам, позволяющим проводить скоростную и высокопроизводительную съемку верхнего слоя водоема на предмет загрязнения нефтью, как находящейся на поверхности, так и эмульгированной в водной толще (см., например, [6]).

В лабораторных условиях, флуоресцентный метод позволяет идентифицировать образцы нефтепродуктов за счет уникальности их спектров флуоресценции [7–9]. Однако когда исследуется образец «вода+пленка», то его спектр меняется как по форме, так и по интенсивности вследствие дополнительной флуоресценции воды, растворенного органического вещества (РОВ) и взвеси (в частности, фитопланктона) [10, 11]. С одной стороны, это ставит дополнительную задачу, заключающуюся в выделении спектра пленки из суммарного спектра флуоресценции, а, с другой стороны, дает возможность оценки толщины тонкой (менее 10 мкм) пленки по ослаблению неупругого (комбинационного) рассеяния УФ излучения в верхнем водном слое [12, 13], вызванного поглощением части излучения пленкой. При этом необходимо учитывать, что при отборе и изучении проб пленок в лаборатории их характеристики могут существенно отличаться от исходных по ряду причин: несовершенство методик отбора проб, условий их транспортировки и хранения и др. Эти причины отсутствуют при работе в натуральных условиях, но возникают другие сложности стохастической природы: изменчивость первичных гидрооптических характеристик, волнение, солнечные блики, нестационарность условий освещения и др. Их влияние может приводить к значительным ошибкам, вплоть до невозможности получения результата из-за «отсутствия» отраженного водной поверхностью сигнала в условиях ветрового волнения.

На практике, ввиду несовершенства имеющихся методов или принципиальных ограничений в их использовании, наибольший интерес представляют толстые пленки (от сотен микрон), поскольку они связаны с крупными разливами, представляющими значительную угрозу экологии прибрежной морской зоны. Но в условиях внутренних водоемов не менее важны тонкие пленки, являющиеся маркером производственных и сточных сбросов, а также процессов эвтрофикации водоемов. Исследованию особенностей флуоресценции тонких пленок различных веществ-загрязнителей на фоне эвтрофной воды в условиях ветрового волнения посвящена настоящая работа.

Район и методика измерений

Работы по исследованию флуоресценции сликов проводились на Горьковском водохранилище в условиях 1–2 бального волнения вдалеке от берега с борта моторной лодки «Волжанка-46» в условиях сплошной облачности. Регистрация скорости движения и координат осуществлялась с помощью бортового картплоттера Garmin Echo 52cv.

В дни измерений ветер имел юго-восточное направление, его скорость варьировалась в пределах 3–6 м/с. Средние значения ветра в течение суток брались из базы данных архива погоды [14] близлежащей станции Волжской ГМО.

Искусственные слики последовательно создавались на взволнованной водной поверхности путем нанесения на нее 150 мл следующих веществ: 50% спиртовой раствор олеиновой кислоты, дизельное топливо и сырая нефть марки Urals. Спустя 10–20 минут после разлива, когда слик выгивался в длину на 50–100 м, осуществлялись его пересечения в направлении ветра, навстречу и перпендикулярно ветру (рис. 1). Границы сликов регистрировались визуально (рис. 2), а соответствующие времена их

пересечения фиксировались в бортовом журнале. По окончании работ с одним снимком, осуществлялся сбор вещества с поверхности, после чего разливался новый снимок.

Возбуждение и регистрация флуоресценции чистой (свободной от слик) воды и воды покрытой пленкой производилась лазерным ультрафиолетовым флуоресцентным лидаром УФЛ-9 разработки Института океанологии РАН [15]. Лидар размещался в носовой части моторной лодки под углом 30° к вертикали и 60° к форштевню лодки, т.е. таким образом, чтобы зондировать невозмущенный участок водной поверхности спереди лодки, минимизируя возможные помехи, связанные с попаданием брызг в поле зрения прибора (рис. 3). Возбуждение флуоресценции в верхнем водном слое толщиной порядка 1 м происходило одновременно на двух длинах волн лазера, в УФ и видимом спектральном диапазоне – 355 нм и 532 нм, а регистрация сигналов осуществлялась одновременно в 4 каналах. Из них каналы 355 нм (упругое рассеяние (УР) лазерного УФ импульса), 404 нм (комбинационное, или рамановское, рассеяние (КР) лазерного УФ импульса), 440 нм (вблизи спектрального максимума флуоресценции РОВ природного происхождения) были постоянны, а в четвертом канале можно было выбирать между следующими длинами волн: 385 нм, 424 нм, 460 нм, 500 нм, 532 нм, 620 нм, 650 нм и 685 нм. Смена светофильтров в четвертом канале осуществлялась после каждого прохода слик с тем, чтобы зарегистрировать его флуоресценцию на максимальном количестве длин волн. Регистрация сигналов всегда начиналась с участка чистой воды перед снимком, затем продолжалась в слик и заканчивалась на участке чистой воды после слик. Частота зондирований составляла 2 Гц, что при средней скорости движения лодки 1 м/с позволяло получать пространственное разрешение 0,5 м.

Зарегистрированные спектры флуоресценции обрабатывались и анализировались в Microsoft Excel и визуализировались в Surfer.

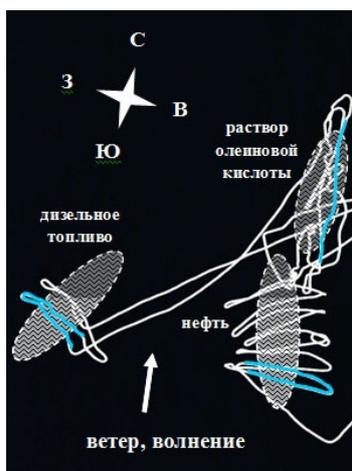


Рис. 1. Схема проведения натурного эксперимента: белой линией отмечен маршрут следования лодки, а заштрихованными овалами схематично представлены слик. Голубым цветом отмечены разрезы, на которых анализируются лидарные сигналы



Рис. 2. Пример визуального наблюдения дизельного слика в условиях сплошной облачности на начальной стадии растекания



Рис. 3. Лазерный ультрафиолетовый флуоресцентный лидар УФЛ-9 на борту моторной лодки Волжанка-46

Результаты и их обсуждение

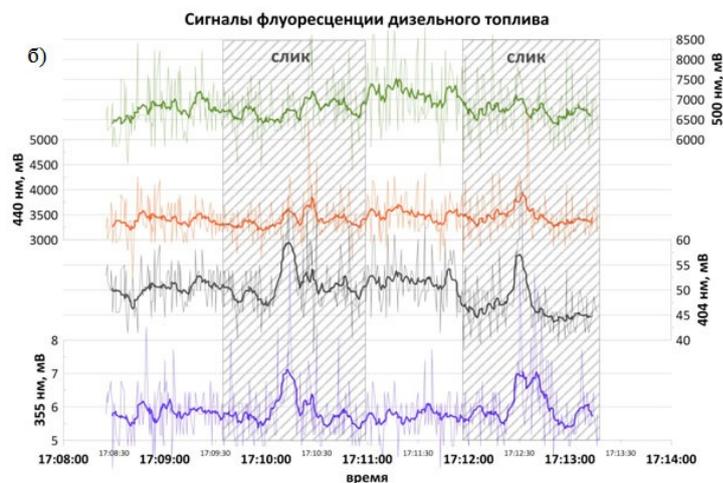
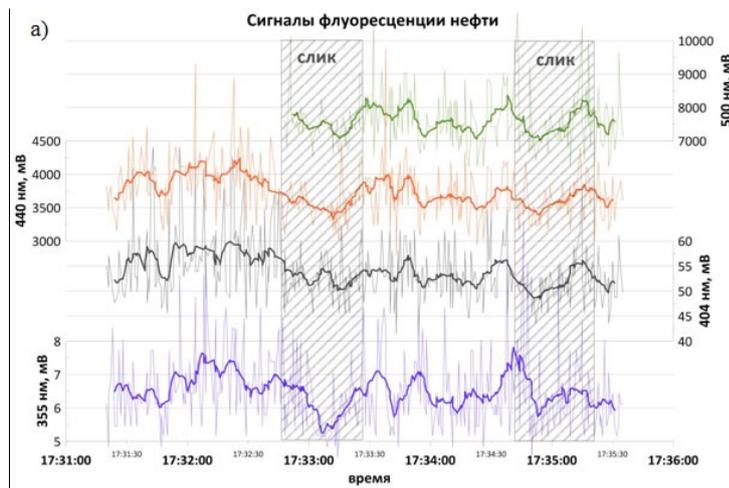
Результаты настоящей работы основаны на данных одного из дней натурных измерений, когда было выполнено 5 пересечений олеинового слика в направлении ветра и навстречу ветру, 7 и 11 поперечных ветру пересечений дизельного и нефтяного сликов соответственно. Средняя протяженность слика в направлении ветра составляла 100 м, а средняя толщина пленки оценивалась в десятые доли микрон в предположении, что пленка распределена по поверхности квазиднородно, а слик имеет форму эллипса. На практике такие приближения можно считать очень грубыми, а реальные значения толщин пленок принять на уровне микрон. Пленки таких толщин относятся к тонким, находящимся на границе возможностей средств дистанционного обнаружения. Рассмотрим особенности их проявления в лидарном сигнале на примере рис. 4, где

представлены временные записи сигналов упругого рассеяния излучения на 355 нм и флуоресценции на 404 нм, 440 нм и 500 нм на выборочных пересечениях олеинового, дизельного и нефтяных сликов. В качестве таковых были выбраны: одиночное пересечение олеинового слика вдоль выпянутости слика, а также последовательные двукратные пересечения дизельного и нефтяного слика поперек их выпянутости (голубые кривые на рис. 1). Пересечения сликов разных веществ осуществлялись в различное время дня, при этом сами слики были разнесены в пространстве на расстояния до 1 км. Это сказалось на различных уровнях фоновых (на воде без пленки) сигналов на всех длинах волн вследствие возможных вариаций первичных гидрооптических характеристик, вызванных проточностью водоема и ветровым дрейфом. В качестве примера на рис. 5 приведены вариации спектра показателя поглощения света водой в Горьковском водохранилище, полученные по результатам анализа проб воды, отобранных в прошлой экспедиции в течение суток вблизи района наблюдения сликов. Видно, что в синезеленой области (400 нм – 500 нм) разброс измеренных показателей поглощения находится в пределах 300%, а в УФ области может быть еще больше вследствие возрастающего там поглощения растворенным в воде органическим веществом. Таким образом, учитывая то, что именно этот показатель в эвтрофных водах определяет глубину проникновения излучения, то наблюдаемые вариации фоновых значений лидарных сигналов на уровне 30% в спектральном диапазоне 350–500 нм кажутся допустимыми.

Сигнал упругого рассеяния (355 нм)

Из представленных рисунков видно, что поведение сигнала УР различно для разных веществ: для нефти прослеживаются два провала различной амплитуды, причем второй провал находится на уровне общих флуктуаций сигнала; для дизеля – два отчетливых равношироких максимума близких амплитуд на уровне 25% от фонового сигнала, в то время как прочие флуктуации не превосходили 5%; для раствора олеиновой кислоты – ярко выраженный широкий ассиметричный максимум с амплитудой на уровне 270% от фонового сигнала и продолжительным плавно спадающим «хвостом». Справедливости ради стоит отметить, что представленное для дизельного топлива изображение соответствует второму слику, когда на поверхность было вышито в 2 раза больше вещества, а именно 300 мл (при 150 мл лидарные сигналы не содержали полезной информации). Но даже в этом случае проявление сликов в сигнале УР не имело постоянства от пересечения к пересечению (повторяемость была на уровне 50%). Значительно стабильнее, как уже отмечалось выше, детектировались слики из раствора олеиновой кислоты (рис. 4в). При этом форма сигнала УР, вероятно, повторяла распределение толщины пленки, соответствующее известным представлениям: наиболее резкое утолщение наблюдалось на подветренной кромке слика и плавное спадание – с наветренной стороны (красная кривая на рис. 4в). При этом в «хвосте» слика, там, где визуально он уже не наблюдался, в исходном (не сглаженном) сигнале УР обращают на себя внимание периодические максимумы с периодом порядка 7–10 с, совпадающим с периодом энергонесущей поверхностной волны. Установить эту связь удалось благодаря анализу скорости движения лодки по данным бортового картплоттера, которая также периодически менялась за счет «подгормаживаний» лодки во впадинах волн и ускорений на гребнях. Совместно проанализированные со скоростью лодки данные о пройденном ею пути показали, что длина поверхностной волны в среднем составляла 8 м. Таким образом, когда 5-метровая лодка оказывалась во впадине, лидар зондировал участок поверхности, наклоненный в его сторону, что локально приближало геометрию наблюдения к квазизеркальной, способствуя усилению сигнала УР. При этом квазизеркальные отражения наблюдались и перед сликом, в области чистой воды, однако их интенсивность была заметно ниже. Обнаруженный эффект был замечен во всех пересечениях олеинового слика как в направлении ветра, так и навстречу ему, что позволяет исключить из рассмотрения предположение о модуляции сигнала УР за счет периодического попадания в поле зрения лидара отбойной волны при восхождении лодки на ее гребень. Полученный результат важен для практического применения, поскольку

навстречная граница слика имеет сложную гребенчатую структуру [17, 18] и сопровождается отрывом частей слика со временем, что суммарно затрудняет визуальное детектирование слика. Вместе с тем, профили сглаженного сигнала УР вдоль всего слика и в области за ним вместе с данными об объеме вылитого вещества, геометрии слика и эмпирической зависимостью отношения его полуосей [19], вероятно, могут быть результативны при оценках толщины пленки в размерных единицах.



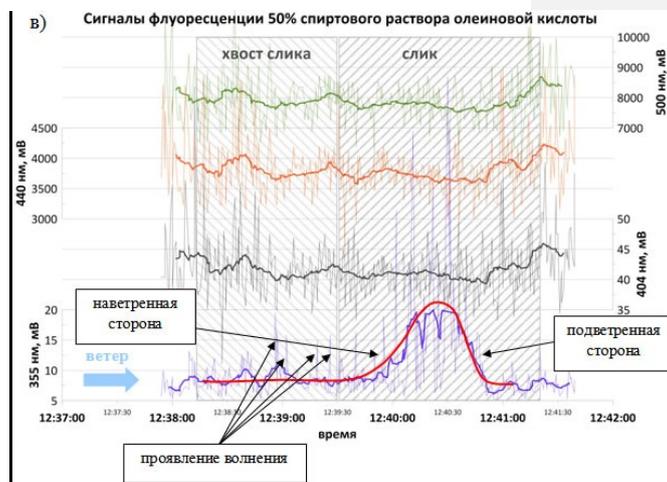


Рис. 4. Временные записи сигналов флуоресценции нефтяного (а), дизельного (б) и олеинового (в) сликов на длинах волн 355 нм, 404 нм, 440 нм и 500 нм. Жирными кривыми отмечены средние значения сигналов, полученные скользящим окном по 11 отсчетам, т.е. 5 сек. Вертикальные области с наклонной штриховкой схематично поясняют границы сликов, положение границ которых определялось визуальным наблюдением

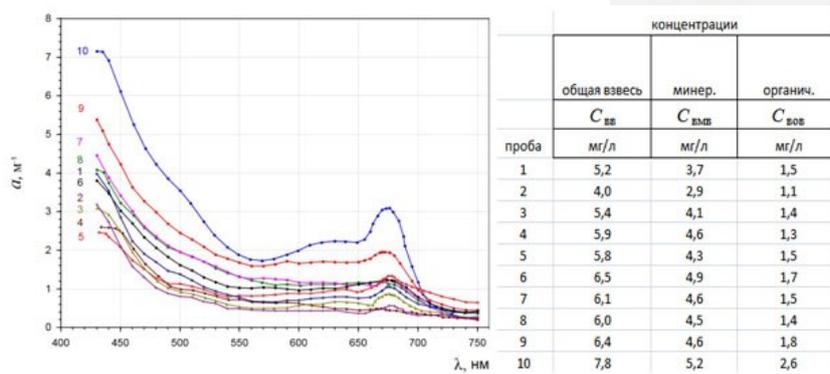


Рис. 5. Спектральный показатель поглощения света совокупностью растворенных и взвешенных веществ (для 10-ти проб)

Сигналы флуоресценции

На рис. 6а представлен спектр флуоресценции воды при ее зондировании лазером 355 нм [20]. Тонкая пленка на поверхности воды за счет поглощения части излучения приводит к ослаблению КР сигнала на 404 нм с одновременным «проседанием» переднего склона флуоресценции РОВ, а также к возможному изменению формы спектра флуоресценции РОВ за счет дополнительной флуоресценции вещества пленки. В качестве примера трансформации спектра флуоресценции верхнего водного слоя поверхностной пленкой, на рис. 6б приведены изображения измеренных спектров флуоресценции с пленкой и без при лазерном возбуждении на 308 нм (рис. 6б) из работы [21]. Видно, что тонкая пленка частично гасит комбинационное рассеяние, а толстая –

полностью. Вместе с тем, пик полной флуоресценции смещается с 430 нм для чистой воды к 450 нм для поверхности покрытой пленкой.

В нашем случае, согласно рис. 4 а-в, сигналы КР и флуоресценции на 440 нм действительно просели в слике для всех исследуемых веществ, но по-разному: для нефти проседание сигнала оказалось не столь интенсивно, но заметно за счет протяженной формы, имеющей повторение при вторичном пересечении слика; для дизеля заметное проседание сигнала было нерегулярным, как и в случае с сигналом УР, рассмотренным выше; для олеиновой кислоты наблюдалось стабильное проседание сигнала. Аналогичные результаты были получены и для других пересечений сликов, а также для каналов 385 нм и 500 нм. Более длинноволновые каналы 620 нм и 650 нм оказались чувствительны только к олеиновой пленке, что, вероятно связано с тем, что пик флуоресценции олеиновой кислоты находится правее пика РОВ, а именно на 500 нм [22]. В целом, можно сделать вывод, что рассматриваемые пленки дизельного топлива и нефти оказались слишком тонкими, чтобы оказывать заметное и регулярное воздействие на сигналы флуоресценции, а пленки из раствора олеиновой кислоты – вполне пригодными для их детектирования по флуоресценции. Нельзя не отметить и тот факт, что начало и конец слика далеко не всегда однозначно идентифицировались по временным записям из-за прочих флуктуаций сигнала. Поэтому информация о моментах пересечения границ, фиксируемых в ходе натурального эксперимента путем визуального наблюдения, была крайне полезна при анализе лидарных сигналов.

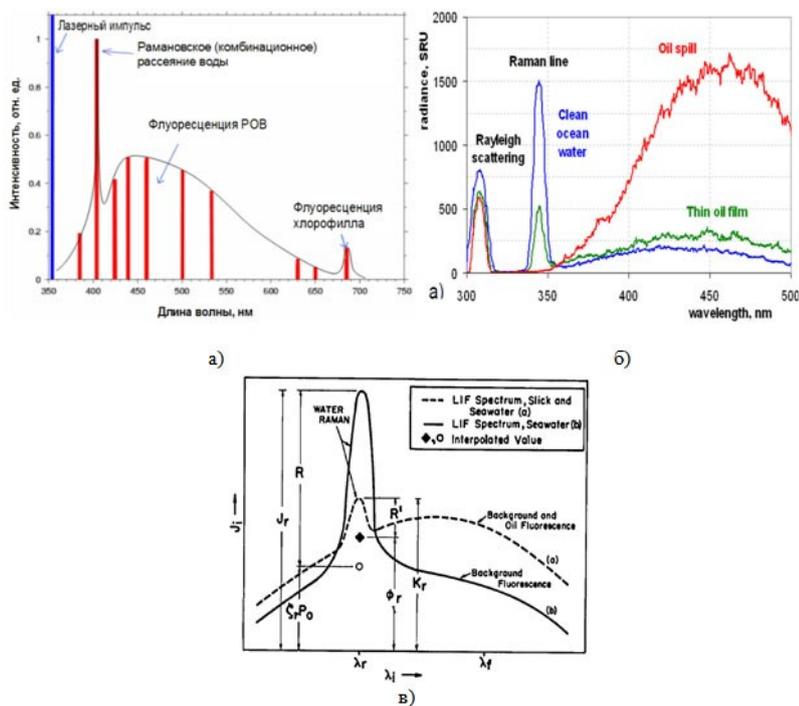


Рис. 6. Типичный спектр флуоресценции воды при ее зондировании лазером 355 нм (а), пример трансформации спектра флуоресценции верхнего водного слоя нефтяной пленкой (б) и графическое пояснение методики оценки толщины поверхностной пленки по ослаблению сигнала комбинационного рассеяния (в)

Рассмотрим особенности оценки толщин пленок по ослаблению сигнала КР с использованием методики Ногге & Свифт [12], графическое пояснение которого приведено на рис. 6б. На рисунке рассмотрен спектральный интервал вблизи пика флуоресценции РОВ, включающий полосу КР. Согласно сделанным на рисунке обозначениям, толщина пленки оценивается по формуле:

$$d = -\frac{1}{a + a_r} \ln \left(\frac{K_r - \phi_r}{J_r - \zeta_r P_0} \right), \quad (1)$$

где a и a_r – показатели поглощения света водой и веществом пленки на длине волны КР.

Видно, что предложенный подход имеет как минимум две трудности. Первая заключается в том, что сигнал на длине волны 404 нм, как уже отмечалось выше, состоит из сигнала КР и фонового сигнала флуоресценции воды. Поэтому для расчета интенсивности КР, нужно располагать значениями интенсивности флуоресценции верхнего водного слоя (с пленкой и без) в спектральных каналах слева и справа от КР, т.е. там, где вклад КР в полный сигнал отсутствует. Это позволит оценить наклон флуоресценции РОВ, т.е. корректно учесть ее уровень. В случае применения лидара УФЛ-9, наиболее близко расположенными к полосе КР спектральными каналами могут быть 385 и 440 нм. Однако существенные флуктуации сигналов в используемых каналах могут привести к вариациям в оценке интенсивностей КР и, как результат, к вариациям восстановленных значений толщин пленки.

Второй проблемой использования формулы (1) является необходимость знания показателя поглощения света водой (считаем, что для вещества он известен и постоянен). Для водоемов с изменчивыми гидрооптическими характеристиками, как это уже было показано на примере Горьковского водохранилища на рис. 5, необходимо располагать значениями показателя поглощения в каждой точке лидарного зондирования (причем не только вдоль трассы зондирования, но и по толщине верхнего слоя). Это создает значительные трудности для получения точных оценок толщины пленки, но не уменьшает работоспособности подхода в целом на основании усредненных данных для получения предварительных оценок.

Заключение

В работе представлены результаты натурных измерений сигналов флуоресценции пленок трех веществ (50% спиртового раствора олеиновой кислоты, дизельного топлива и нефти Urals) на водной поверхности в условиях развитого волнения с помощью лазерного флуоресцентного лидара УФЛ-9. Анализ лидарных данных показал, что сигналы УР на 355 нм позволяют уверенно детектировать тонкие пленки из раствора олеиновой кислоты, в то время как детектирование пленок нефти и дизельного топлива требуют использования вспомогательной информации (дополнительных пересечений сликков, других спектральных каналов, визуальных оценок). Вместе с тем, на примере утолщения дизельного слика за счет двукратного увеличения объема вылитого вещества, удалось зарегистрировать повышение точности его обнаружения по усилению сигнала УР в области слика.

При зондировании вдоль выпянутости олеинового слика, в сигнале УР продемонстрировано присутствие асимметричного максимума, ширина которого совпадает с продольным размером слика, детектируемого визуально. Зарегистрированная форма сигнала повторяла распределение толщины пленки, соответствующее известным представлениям: наиболее резкое утолщение наблюдалось на подветренной кромке слика и плавное спадание – с наветренной стороны. Также продемонстрирована возможность обнаружения пленки в области за сликком, в его хвосте, где визуальное наблюдение не дает результатов. Таким образом, профили сглаженного сигнала УР вдоль всего слика

и в области за ним вместе с данными об объеме вылитого вещества, геометрии слика и эмпирической зависимостью отношения его полуосей, вероятно, могут быть результативны при оценках толщины пленки в размерных единицах. Количественное исследование этого вопроса будет реализовано в будущем при контроле формы слика в натуральных экспериментах, например, с использованием радиолокаторов СВЧ-диапазона.

Наряду с возможностями сигнала УР, в работе рассмотрены особенности флуоресценции сигналов в разных спектральных каналах. Показано, что канал 404 нм, включающий комбинационное рассеяние воды и пьедестал из флуоресценции растворенного в воде органического вещества, также эффективен для детектирования сликов, как и канал флуоресценции при 440 нм. Однако использование этих каналов совместно с каналом 385 нм для оценки толщины пленки по широко известному методу [12] может встретить заметные трудности в связи со значительными флуктуациями сигналов, а также необходимостью знания показателя поглощения света водой в каждой точке лидарного зонирования.

Еще одним важным результатом настоящей работы стала демонстрация реальных возможностей использования экологически безопасной олеиновой кислоты в качестве имитатора нефтяных загрязнений (по вязко-упругим свойствам) при исследовании процессов растекания сликов, их трансформации и разрушения, а также для количественных оценок пространственного распределения толщины слика в размерных единицах. Оптимальными для этого длинами волны станут узкие участки спектра в диапазоне 355–500 нм.

Авторы статьи благодарны Долину Л.С., Сергиевской И.А., Капустину И.А. и Ермакову С.А. за обсуждение результатов и ценные советы, Лещеву Г.В. за участие в натуральных исследованиях и Коновалову Б.В. за обработку проб воды на показатель поглощения света.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №18-35-20054, 19-05-00605, 19-55-80004.

Список литературы:

1. Leifer I., State of the art satellite and airborne marine oil spill remote sensing: Application to the BP Deepwater Horizon oil spill / I. Leifer, W. J. Lehr, D. Simecek-Beatty, E. Bradley, R. Clark, P. Dennison, J. Wozencraf // Remote Sensing of Environment. – 2012. – Vol. 124. – Pp. 185-209. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.03.024>
2. Fingas M., The challenges of remotely measuring oil slick thickness / M. Fingas // Remote sensing – 2018. – Vol. 10. – Is. 2. – Pp. 319-337. <https://doi.org/10.3390/rs10020319>
3. Богородский В.В. Дистанционное обнаружение нефтяных загрязнений вод ИК-лазером / В.В. Богородский, М.А. Кропоткин. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 40 с.
4. Kordyban E., Instrumentation to measure the oil thickness on wavy water surface / E. Kordyban, S. Cuker // Review of Scientific Instruments. – 1978. – Vol. 49. – Is. 11. – Pp. 1574-1578.
5. Индикация нефтяных пленок на море с помощью лидара на CO₂ / К.С. Шифрин, В.Ю. Осадчий, Г.К. Беляков, И.Я. Гуревич, В.А. Пороховник, А.А. Лимин // В кн.: Пятый Всес. Симпозиум по лазерному и акуст. Зонд. Атмосферы. Тезисы. – 1978. – Т. 1. – С.155-159.
6. Babichenko S., Laser remote sensing of the European marine environment: LIF technology and applications / S. Babichenko // Remote Sensing of the European Seas. Springer, Dordrecht. – 2008. – Pp. 189-204. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6772-3_15
7. Мазуров И.В., Лазерная диагностика нефтепродуктов и растворенных органических веществ в воде / И.В. Мазуров, В.В. Фадеев, В.В. Чубаров // Материалы УИ Пленума РГ по оптике океане. – 1983. – С. 28-32.
8. Development of airborne oil thickness measurements / C.E. Brown, M.F. Fingas // Marine Pollution Bulletin. – 2003. – Vol. 47. – Is. 9-12. – Pp. 485-492. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(03\)00203-0](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(03)00203-0)
9. Hengstermann T., Lidar Fluorosensing of Mineral Oil Spills on the Sea Surface / T. Hengstermann, R. Reuter // Applied Optics. – 1990. – Vol. 29. – Is. 22. – Pp. 3218-3227. <https://doi.org/10.1364/AO.29.003218>
10. Brown C.E. Laser fluorosensors / C.E. Brown // In book: Oil spill science and technology. Gulf Professional Publishing. – 2011. – P. 171-184. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-04851-1>

11. Карабашев Г.С. Сравнение физических характеристик флуоресценции техногенных загрязнений с характеристиками флуоресценции натуральной воды / Г.С. Карабашев, М.А. Шматко // Материалы VI Пленума РГ по оптике океане. – 1983. – С. 20-27.
12. Hoge F.E. Oil film thickness measurement using airborne laser-induced water Raman backscatter / F.E. Hoge, R.N. Swift // Applied Optics. – 1980. – Vol. 19. – Is. 19. – Pp. 3269-3281. <https://doi.org/10.1364/AO.19.003269>
13. Piskozub J., A Lidar system for remote measurement of oil film thickness on sea surface / J. Piskozub, V. Drozdowska, V. Varlamov // Environments. – 1997. – Vol. 17. – Pp. 19.
14. Архив погоды Волжской ГМО. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://tr5.ru> (дата обращения: 16.04.2020).
15. Palmer S.C. Ultraviolet Fluorescence Lidar (UFL) as a Measurement Tool for Water Quality Parameters in Turbid Lake Conditions / S.C. Palmer, V.V. Pelevin, I.V. Goncharenko, A. Kovács, A. Zlinszky, M. Présing, H. Horváth, V. Nicolás-Perea, H. Balzter, V. Tóth // Remote Sensing. – 2013. – Vol. 5. – Pp.4405-4422. <https://doi.org/10.3390/rs5094405>
16. Goodman R.H. Simple remote sensing system for the detection of oil on water, Environmental Studies Research Funds, Report Number 098. Research Department, Esso Resources Canada Ltd, Calgary, Alberta, Canada, – 1988. – Pp. 6–9.
17. Fingas M. How to measure slick thickness (or not) / M. Fingas // Proc. of the 35th Arctic and Marine Oil spill Program Technical Seminar. – 2012. – Pp. 617–652.
18. Ермаков С.А. О гребенчатой структуре границ slickов на морской поверхности / С.А. Ермаков, О.Ю. Лаврова, И.А. Капустин, А.В. Ермошкин, А.А. Мольков, О.А. Даниличева // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. – 2018. – Т. 15. – № 7. – С. 208–217. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-208-217
19. Ermakov S.A. Drift and shape of oil slicks on the water surface / S.A. Ermakov, O.A. Danilicheva, I.A. Kapustin, A.A. Molkov // Proc. SPIE 11150, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2019, 111500J (14 October 2019). <https://doi.org/10.1117/12.2533203>
20. Пелевин В.В. Мелкомасштабная пространственная изменчивость биооптических полей по данным флуоресцентного лидара. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. ИО РАН. Москва. – 2017. – 159 с.
21. Lennon M. Detection and mapping of oil slicks in the sea by combined use of hyperspectral imagery and laser induced fluorescence / M. Lennon, S. Babichenko, N. Thomas, V. Mariette, G. Mercier, A. Lisin // *EARSel eProceedings*. – 2006. – Vol. 5. – Is. 1. – Pp. 120–128.
22. Kyriakdis N.B., Fluorescence Spectra Measurement of Olive Oil and Other Vegetable Oils / N.B. Kyriakdis, P. Skarkalis // Journal of AOAC International. – 2000. – Vol. 83, – Is. 6, – Pp. 1435–1439. <https://doi.org/10.1093/jaoac/83.6.1435>.

FULL-SCALE STUDIES OF FLUORESCENCE FEATURES OF SURFACTANT FILMS ON EUTROPHIC WATER WAVY SURFACE

Aleksandr A. Molkov

*Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia
Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

Vadim V. Pelevin

P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The current paper presents the results of a full-scale study of the fluorescence features of pollutants (diesel fuel, Urals oil), as well as an alcoholic solution of oleic acid, which imitates oil by visco-elastic characteristics. The experiment was carried out on the Gorky Reservoir under conditions of wind waves. Local areas of artificial slicks were created for multiple intersections at different angles to the wind and waves with continuous lidar sounding of the upper water layer. Signals were recorded by the ninth generation UVL-9 laser ultraviolet fluorescent lidar developed by the Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences. At signal analysis, spectral intensities and fluorescence features of the studied substances are determined, possibilities of slick detecting as well as film thickness estimation are made, examples of surfactant film detecting behind the oleic slick where visual observation of pollutants does not give a result are showed. The obtained results are useful for the further development

of fluorescent methods and devices for operational remote sensing of surface pollution on wave water surface.

Keywords: *fluorescence, lidar sounding, slicks, anthropogenic pollution, oil, diesel, wind waves, inland waters*

References:

1. Leifer I., Lehr W. J., Simecek-Beatty D., Bradley E., Clark R., Dennison P., Wozencraft J. «State of the art satellite and airborne marine oil spill remote sensing: Application to the BP Deepwater Horizon oil spill» *Remote Sensing of Environment* 124 (2012): 185-209. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.03.024>
2. Fingas M. «The challenges of remotely measuring oil slick thickness» *Remote sensing* 10/2 (2018): 319-337. <https://doi.org/10.3390/rs10020319>
3. Bogorodskij V.V., Kropotkin M.A. *Distancionnoe obnaruzhenie nefyanyh zagryazne-nij vod IK-lazerom* – L.: Gidrometeoizdat, 1975. 40 p.
4. Kordyban E. «Instrumentation to measure the oil thickness on wavy water surface» *Review of Scientific Instruments* 49/11 (1978): 1574-1578.
5. Shifin K.S., Osadchij V.Yu., Belyakov G.K., Gurevich I.Ya., Porohovnik V.A., Limin A.A. «Indikaciya nefyanyh plenok na more s pomoshch'yu lidara na CO₂» (Oil film detection on sea surface by CO₂ lidar) *V kn.: Pyatyj Vses. Simpozium po lazernomu i akust. Zond. Atmosfery. Tezisy.* 1(1978): 155-159.
6. Babichenko S. «Laser remote sensing of the European marine environment: LIF technology and applications»/ In book: *Remote Sensing of the European Seas.* Springer, Dordrecht, 2008: 189-204. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6772-3_15
7. Mazurov I.V., Fadeev V.V., Chubarov V.V. «Lazernaya diagnostika nefeproduktov i rastvorennyh organicheskikh veshchestv v vode» *Materialy UI Plenuma RG po optike okeane*, 1983: 28-32.
8. Brown C.E., Fingas M.F. «Development of airborne oil thickness measurements» *Marine Pollution Bulletin* 47/9-12 (2003): 485-492. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(03\)00203-0](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(03)00203-0)
9. Hengstermann T., Reuter R. «Lidar Fluorosensing of Mineral Oil Spills on the Sea Surface» *Applied Optics* 29/22 (1990): 3218-3227. <https://doi.org/10.1364/AO.29.003218>
10. Brown C.E. «Laser fluorosensors» / C.E. Brown // In book: *Oil spill science and technology.* Gulf Professional Publishing. – 2011. – P. 171-184. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-04851-1>
11. Karabashev G.S., Shmatko M.A. «Sravnenie fizicheskikh karakteristik fluorescencii tekhnogennyh zagryaznenij s karakteristikami fluorescencii natural'noj vody» *Materialy UI Plenuma RG po optike okeane*, 1983: 20-27.
12. Hoge F.E., Swift R.N. «Oil film thickness measurement using airborne laser-induced water Raman backscatter» *Applied Optics* 19/19 (1980): 3269-3281. <https://doi.org/10.1364/AO.19.003269>
13. Piskozub J., Drozdowska V., Varlamov V. «A Lidar system for remote measurement of oil film thickness on sea surface» *Environments* 17 (1997): 19.
14. Arhiv pogody Volzhskoj GMO. Web. 16 Apr. 2020 <<https://rp5.ru>>
15. Palmer S.C., Pelevin V.V., Goncharenko I.V., Kovacs A., Zlinszky A., Présing M., Horváth H., Nicolás-Perea V., Balzter H., Tóth V. «Ultraviolet Fluorescence Lidar (UFL) as a Measurement Tool for Water Quality Parameters in Turbid Lake Conditions» *Remote Sensing* 5 (2013): 4405-4422. <https://doi.org/10.3390/rs5094405>
16. Goodman R.H. «Simple remote sensing system for the detection of oil on water» *Environmental Studies Research Funds, Report Number 098.* Research Department, Esso Resources Canada Ltd, Calgary, Alberta, Canada, 1988: 6-9.
17. Fingas M. «How to measure slick thickness (or not)» *Proc. of the 35th Arctic and Marine Oil spill Program Technical Seminar*, 2012: 617-652.
18. Ermakov S.A., Lavrova O.Yu., Kapustin I.A., Ermoshkin A.V., Molkov A.A., Danilicheva O.A. «O grebenchatoj strukture granic slikov na morskoy poverhnosti» *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz Kosmosa* 15/7 (2018): 208–217. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-208-217
19. Ermakov S.A., Danilicheva O.A., Kapustin I.A., Molkov A.A. «Drift and shape of oil slicks on the water surface» *Proc. SPIE* 11150, *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions* 2019, 111500J (14 October 2019). <https://doi.org/10.1117/12.2533203>
20. Pelevin V.V. «Melkomasshtabnaya prostranstvennaya izmenchivost' bioopticheskikh polej po dannym fluorescentnogo lidara» *Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata fiziko-matematicheskikh nauk.* IO RAN. Moskva. – 2017. – 159.

21. Lennon M., Babichenko S., Thomas N., Mariette V., Mercier G., Lisin A. «Detection and mapping of oil slicks in the sea by combined use of hyperspectral imagery and laser induced fluorescence» EARSel eProceedings. 5/1(2006): 120-128.

22. Kyriakdis N.B., Skarkalis P. «Fluorescence Spectra Measurement of Olive Oil and Other Vegetable Oils» Journal of AOAC International 83/6 (2000): 1435-1439. <https://doi.org/10.1093/jaoac/83.6.1435>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Александр Андреевич Мольков, к.ф.-м.н., научный сотрудник отдела радиофизических методов в гидрофизике, Институт прикладной физики Российской академии наук (ФГБНУ «ИПФ РАН»), 603950, г. Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46, старший научный сотрудник кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5,
e-mail: a.molkov@inbox.ru

Вадим Вадимович Пелевин, старший научный сотрудник лаборатории взаимодействия океана с водами суши и антропогенных процессов, Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (ФГБНУ «ИО РАН»), 117997, г. Москва, Нахимовский пр., 36,
e-mail: vvpelevin@gmail.com

Aleksandr A. Molkov, Ph.D., Researcher of the Department of Radiophysical Methods in Hydrophysics, Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, 46, Ulyanov st, Nizhny Novgorod, 603950, Senior researcher of the Department of Hydrodynamics, Vessel Theory and Ecological Safety, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951,

Vadim V. Pelevin, Senior researcher of the Department of the Laboratory of land-ocean interactions and the anthropogenic impact, P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Volga State University of Water Transport, 36 Nahimovskiy av., Moscow, 117997

Статья поступила в редакцию 06.05.2020 г.

УДК 006:629.6:629.042//047

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.81>

ВЫБОР ИЗОЛЯЦИОННО-ЗАШИВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПЛАВУЧЕГО РЕСТОРАНА КЛАССА «Р» МЕТОДОМ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО СРАВНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ

А.А. Степанова

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

Т.А. Михеева

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. В данной статье предложен и рассмотрен метод решения задачи оптимального выбора изоляционно-зашивочных материалов для внутренних помещений плавучего ресторана класса «Р». Этот метод основан на принципе многокритериального сравнения альтернативных вариантов [1]. Для сравнения были подобраны изоляционные материалы, наиболее подходящие для судна данного типа. Так как в современном судостроении к безопасности и комфорту внутренних помещений судов предъявляются высокие требования, то, как следствие этого, к материалам для изоляции внутренних помещений требования также высоки. Были подробно проанализированы различные характеристики изоляционно-зашивочных материалов, которые определяют уровень их качества. При изучении характеристик изоляционных материалов учитывался технологический уровень и степень конкурентоспособности предприятия-изготовителя. Для определения наиболее подходящего изоляционного материала для внутренней отделки помещений плавучего ресторана впервые применён метод многокритериального сравнения. Выполнено определение показателей конкурентоспособности материалов.

Ключевые слова: изоляционно-зашивочные материалы, альтернативные варианты, безопасность, оптимизация, критерий, ранжирование, конкурентоспособность

Введение

В настоящее время определяющей тенденцией при строительстве пассажирских судов и, в частности, плавучих ресторанов, является повышенный уровень комфорта и безопасности внутренних помещений. В судостроении применяются различные виды изоляционно-зашивочных материалов в зависимости от их назначения. От качества этих материалов зависит уровень безопасности и комфорта пребывания пассажиров. При этом эксплуатационные характеристики материала должны полностью соответствовать функциональному назначению помещения, в котором он будет применяться. Следует отметить, что разнообразие изоляционно-зашивочных материалов на внутреннем и внешнем рынках велико. Качество отечественных материалов не уступает качеству зарубежных. В связи с этим, выбор изоляционно-зашивочных материалов является сложным, многоступенчатым процессом. Определённую трудность в выборе отделочных и изоляционных материалов представляет и то, что они должны соответствовать стандартам *IMO (International Maritime Organisation)* и *MED (Marine Equipment Directive)* [2], [3]. Судовая изоляция должна также удовлетворять требованиям классификационных обществ, включая Российский Морской Регистр Судостроения [4].

Проблема в определении наиболее оптимальных марок изоляционно-зашивочных материалов весьма актуальна, однако в настоящее время не существует единого метода их выбора. В данной работе предлагается для этой цели использовать метод

многокритериального сравнения альтернативных вариантов различных марок изоляционно-зашивочных материалов для внутренних помещений. На примере выбора противопожарной изоляции различных производителей-конкурентов с применением указанного метода проводится выявление самого конкурентоспособного, а следовательно, наиболее качественного материала.

1. Базовые условия выбора наиболее оптимальных марок изоляционно-зашивочных материалов

Выбор наиболее оптимальных марок изоляционно-зашивочных материалов для внутренних помещений плавучего ресторана класса «Р» должен выполняться с учётом основных эксплуатационных и нормативных требований *IMO (International Maritime Organisation)* и *MED (Marine Equipment Directive)* [2], [3]. Кроме этого, выбранные отделочные материалы должны быть одобрены всеми крупными органами классификации [4]. В связи с этими строгими условиями выбора для принятия решения необходимо вести сравнение изоляционных материалов различного назначения по нескольким параметрам, то есть решать задачу многокритериального сравнения альтернативных вариантов [5]. Однако это весьма сложная и многоступенчатая задача, решение которой требует написания компьютерной программы, так как назначение изоляционно-зашивочных материалов очень широкое (звукоизоляция, противопожарная, декоративная, тепловая и т.д.).

С целью сокращения работы и упрощения нашей задачи в данной работе рассмотрим выбор только противопожарной изоляции. Методику, которая приведена в работе, можно применять в дальнейшем для выбора изоляционно-зашивочных материалов различных марок и назначения.

Необходимо отметить также, что при выборе оптимальных марок противопожарного материала учитывался рейтинг (весомость) конкурентоспособности предприятия-изготовителя и степень его технологической оснащённости.

Для решения задачи многокритериального сравнения оптимальных марок противопожарных изоляционно-зашивочных материалов используют метод взвешенной суммы, когда критерий полезности альтернативы определяется как некая сумма произведений весовых коэффициентов (весов) критериев и оценки этого критерия [6]:

$$Y_i = \frac{(n+1-i)}{n(n-1)}, \quad (1)$$

где Y_i – вес показателя;
 n – количество показателей.

При этом сумма весовых коэффициентов должна быть равна единице:

$$\sum_{i=1}^n Y_i = 1 \quad (2)$$

2. Этапы методики определения оптимальной марки изоляционно-зашивочного материала

Для определения наиболее подходящего противопожарного материала на первом этапе проводят выявление основных ключевых факторов или характеристик материалов. Для этого обычно выбирают не более десяти характеристик.

Вторым этапом производится оценка предприятия-изготовителя материала и его прямых конкурентов по каждому ключевому фактору успеха, обозначенному P_i . На этом этапе эксперты оценивают важность частного критерия по шкале от нуля до десяти (0–10) [7]. При этом оценка может производиться по любой балльной шкале, но

для упрощения вычислений используют обычно только положительные оценки. Например, используют десятибалльную шкалу, где оценка «1» – минимальное возможное значение, которое обозначает худшее качество материала, а оценка «10» – максимально возможное значение, которое характеризует самое высокое качество материала.

Для оценки предприятия-изготовителя примем следующие обозначения. Обозначим через h_{ik} – балл i -го эксперта для k -критерия, тогда весомость конкурентоспособности предприятия можно определить по формуле (3).

$$P_{ik} = \frac{h_{ik}}{\sum_{k=1}^m h_{ik}} \quad (3)$$

где $\sum_{k=1}^m h_{ik}$ – сумма i -ой строки;

P_{ik} – весомость, подсчитанная для k -критерия i -м экспертом.

С учётом того, что ключевой фактор успеха предприятия $P_i = \sum_{j=1}^l r_{ij}$, получаем:

$$Y_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^m r_i} \quad (4)$$

Третьим этапом производится определение ранга характеристик для каждого предприятия-изготовителя материала R_i^j , где j – рассматриваемая компания отрасли $j \in [1, m]$, i – рассматриваемые ключевые факторы, $i \in [1, n]$ [8]. Это взвешенная оценка по отдельным факторам, вычисляемая как произведение оценки предприятия-изготовителя по данному показателю на его вес по формуле (5):

$$PAHГ = Y_i \cdot P_i \quad (5)$$

Четвертым этапом рассчитывается общая сумма оценок характеристик по каждому предприятию-изготовителю материала [9]:

$$R^j = \sum_{i=1}^n R_i^j \quad (6)$$

Определяющий показатель наилучшего материала имеется у каждой компании. Условно примем, что суммы всех показателей качества материала «X» будут оценивать показатель конкурентоспособности компании [10].

На основании этого можно провести расчет уровня качества материалов и конкурентоспособности компаний, предлагающих изоляционные материалы, методом многокритериального сравнения альтернативных вариантов. В качестве этих вариантов принимаем следующие марки материалов: «Rockwool SeaRox FB6040 AU»; «Tizol-flot Fire 100»; «Paroc Marine Fire Slab 100»; «Isotec U Marine Wired Mat 66 Alu 1». Выбранные марки изоляционно-отделочных материалов отличаются по своим параметрам.

Характеристики перечисленных выше материалов представлены в первой статье авторов [11]. При решении данной задачи в качестве основных потребительских параметров выбраны: безопасность, экологичность, толщина материалов, плотность материала, скорость монтажа, ремонтпригодность, утилизация, масса изоляции. В качестве экономического параметра выбрана стоимость единицы массы материала.

Для оценки пригодности продукции используем метод экспертных оценок, в котором принимаем, что оценка важности частного критерия оценивается по балльной шкале от 0 до 10. При этом значение, равное «0», обозначает наихудший показатель качества, который неприемлем для применяемого материала [12].

Затем по заданным оценкам экспертов, используя метод взвешенной функции, составляем степени, следуя рекомендации: чем важнее качество материала, тем выше степень (значение функции принадлежности лежит в интервале от 0 до 1).

После этого определяем ранг характеристик каждой компании и находим общую сумму оценок, определяющую наивысший показатель наилучшего материала каждой компании [13]. В результате вычисления произведений последних значений определим показатели конкурентоспособности материалов «X», которые представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Определение показателей конкурентоспособности материалов

Ключевые факторы	Вес «У»	Противопожарная изоляция							
		Конкурирующие компании							
		TIZOL FLOT		PAROC		ROKWOOL		ISOTEC	
		P_i	Ранг	P_i	Ранг	P_i	Ранг	P_i	Ранг
Безопасность	0,25	9	2,25	9	2,25	9	2,25	8	2,00
Экологичность	0,25	9	2,25	9	2,25	9	2,25	8	2,00
Толщина материала	0,05	6	0,30	8	0,40	7	0,35	8	0,40
Плотность материала	0,02	8	0,16	9	0,18	6	0,12	8	0,16
Скорость монтажа	0,02	8	0,16	9	0,18	6	0,12	8	0,16
Ремонтопригодность	0,01	7	0,07	8	0,08	7	0,07	8	0,08
Утилизация	0,05	5	0,25	7	0,35	7	0,35	7	0,35
Стоимость	0,25	9	2,25	7	1,75	4	1,00	6	1,50
Масса изоляции	0,10	7	0,70	6	0,60	9	0,90	6	0,60
X	1,00	68	8,39	72	8,04	64	7,41	67	7,25

Определение уровня конкурентоспособности продукции и предприятия-изготовителя являются немаловажным фактором при выборе материала.

Из данных Таблицы 1 видно, что самым конкурентоспособным, а следовательно, наиболее качественным, является материал марки «Tizol-flot Fire 100» с Рангом (R) = 8,39. Этот материал удовлетворяет требованиям к изделию по основным технологическим характеристикам (безопасности и экологичности) и стоимости. Кроме того, на основании проведённого в Таблице 1 многокритериального сравнения альтернативных вариантов [14], [15], был выбран возможный вариант для замены основного – материал «Paroc Marine Fire Slab 100». Таким образом, на основе полученных данных, можно рекомендовать материалы марок «Tizol-flot Fire 100» с Рангом (R) = 8,39 и «Paroc», имеющий Ранг (R) = 8,04.

Следует отметить, что определение показателей конкурентоспособности можно провести и по другим выбранным основополагающим критериям в зависимости от назначения изоляционно-зашивочных материалов.

Заключение

На основании проведённых исследований и расчётов можно заключить, что метод многокритериального сравнения альтернативных вариантов является наиболее обоснованным для выявления наилучшего изоляционно-зашивочного материала, а также для определения конкурентоспособности продукции. Применяя указанный метод на практике, на наш взгляд, можно получить хотя и приближенные, но достоверные результаты [16]. Следовательно, его использование может предотвратить убытки потребителей и снизить появление дефектов в процессе изготовления и последующей эксплуатации изделий, что является весьма актуальным в условиях рыночной экономики.

Таким образом, метод многокритериального сравнения – это довольно сложный, но результативный процесс, который позволяет выявить влияние определенных факторов на конечный результат [17]. Данная методика может применяться во многих сферах

жизни и эффективно использоваться для ведения бизнеса [18]. Также метод многокритериального сравнения можно использовать для достижения прорывных задач с помощью простых методов.

Список литературы:

1. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решения: Учеб. пособие/ А.В. Лотов. – М: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.
2. Международный кодекс по применению процедур испытания на огнестойкость (Резолюция MSC.61(67) ИМО) – Санкт – Петербург; ФГУП «ЦНИИТС», 2005 – 92 с.; ISBN: 5-8072-0024-1.
3. Lloyd's Register Group Limited. <https://www.lr.org/en/>
4. Правила РМРС – Санкт-Петербург, 2019. – 5000 с.
5. Информационные технологии и системы поддержки принятия решений [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.e-college.ru>, свободный.
6. Ногин В.Д. Принятие решений при многих критериях: Учебно-методическое пособие/ В.Д. Ногин. -СПб: Издательство «ЮТАС», 2007. – 104 с.
7. Технологии принятия решений: метод анализа иерархий [Электронный ресурс], Режим доступа: <http://sitforum.iubir.ru>, свободный.
8. Технологии анализа данных [Электронный ресурс], Режим доступа: <http://www.basegroup.ru>, свободный.
9. Introduction to Type-2 Fuzzy Sets and Systems/ Mendel J./IEEE Computational Intelligence Magazine. -2007. – № 2. -Яз. англ
10. Simon Coupland . Type-2 Fuzzy Control of a Mobile Robot. – United Kingdom. – 30 с – Яз. англ.
11. Степанова А.А., Михеева Т.А. Обоснование выбора изоляционно-зашивочных материалов для помещений плавучего ресторана бассейнов разряда «Р» с целью обеспечения безопасности пребывания посетителей // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2019. – №59. – с. 70–78
12. Ship insulation Paroc. <https://www.paroc.ru/resheniya-paroc/marine-and-offshore>
13. Type approval according to marine equipment directive fire safety – standard for certification № 2.9, DNV. – 2013.
14. Rockwool. <https://www.rockwool.ru/>
15. SOLAS-74 – International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974
16. ISM CODE – International Safety Management Code
17. TIZOL-FLOT. <http://tizol-флот.рф/catalog/>
18. A Novel Algorithm for Tuning of the Type-2 Fuzzy System: Материалы конф. / First Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems Ferdowsi University of Mashhad, Iran, 29–31 августа 2007.- Яз. англ.

SELECTION OF INSULATION-SEWING MATERIALS FOR ROOMS OF CLASS «R» FLOATING RESTAURANT BY THE METHOD OF MULTI- CRITERIA COMPARISON OF ALTERNATIVE OPTIONS

Anastasia A. Stepanova,

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Tatyana A. Mikheeva,

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. This article proposes and considers a method for solving the problem of the optimal choice of insulation and sewing materials for the interior of a floating class «P» restaurant. This method is based on the principle of multi-criteria comparison of alternative options [1]. For comparison, most suitable insulation materials for a vessel of this type were selected. Since in modern shipbuilding safety and comfort demands of the interior of the vessels are high, so the requirements for insulation materials on the interior are also high. Various characteristics of insulating and sewing materials, which determine their quality level, were analyzed in details. When studying the characteristics of insulating materials, the technological level and competitiveness of the manufacturer were taken into account. To determine the most suitable

A.A. Степанова, Т.А. Михеева

Выбор изоляционно-защиточных материалов для помещений плавучего ресторана класса «Р»...

insulation material for the interior decoration of the floating restaurant, multi-criteria comparison method was first applied. The determination of the materials competitiveness was made.

Key words: insulation and sewing materials, alternative options, safety, optimization, criterion, ranking, competitiveness.

Reference

1. Lotov A.V., Pospelova I.I. Multicriteria decision-making problems: Textbook. allowance / A.V. Lotov. - M: MAX Press, 2008.-197 p.
2. Mezhdunarodnyj kodeks po primeniju protsedur ispytaniya na ognestojkost' (Rezoljutsija MSC.61(67) IMO) – Sankt – Peterburg; FGUP «TsNITS», 2005 – 92 s.; ISBN: 5-8072-0024-1.
3. Lloyd's Register Group Limited. <https://www.lr.org/en/>
4. Pravila RMRS – Sankt-Peterburg, 2019. – 5000 s.
5. Information technology and decision support systems [Electronic resource] – Access mode: <http://www.e-college.ru>, free.
6. Nogin V.D. Decision making under many criteria: Educational-methodical aid / V.D. Nogin. -SPb: UTAS Publishing House, 2007.-104 p.
7. Decision making technologies: hierarchy analysis method [Electronic resource], Access mode: <http://citforum.iubip.ru>, free.
8. Stepanova A.A., Mikheeva T.A. The rationale for the selection of insulation and sewing materials for the premises of a floating restaurant of swimming pools of category "R" in order to ensure the safety of visitors' stay // Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport. – 2019.- No. 59. – p. 70-78.
9. Data analysis technologies [Electronic resource], Access mode: <http://www.basegroup.ru>, free.
10. Izoljatsija dlja sudostroenija. http://professor1td.com/katalog/tehnickeskaya_teplo_zvukoizolyatsiya/izolyatsiya_dlya_sudostroenija
10. Introduction to Type-2 Fuzzy Sets and Systems/ Mendel J./ IEEE Computational Intelligence Magazine. -2007. - № 2. -Яз. Англ
11. Simon Coupland . Type-2 Fuzzy Control of a Mobile Robot. - United Kingdom. -30 с – Яз. англ.
12. Ship insulation Paroc. <https://www.paroc.ru/resheniya-paroc/marine-and-offshore>
13. Type approval according to marine equipment directive fire safety – standard for certification № 2.9., DNV. – 2013.
14. Rockwool. <https://www.rockwool.ru/>
15. SOLAS-74 – International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974
16. ISM CODE – International Safety Management Code
17. TIZOL-FLOT. <http://тизол-флот.рф/catalog/>
18. A Novel Algorithm for Tuning of the Type-2 Fuzzy System: Материалы конф. / First Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems Ferdowsi University of Mashhad, Iran, 29-31 августа 2007.-Яз. англ.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Анастасия Алексеевна Степанова, магистрант кафедры «Проектирования и технологии постройки судов», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: destiny1995@yandex.ru

Татьяна Александровна Михеева, доцент, к. т. н., доцент кафедры «Проектирования и технологии постройки судов», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: MiheevaTA@yandex.ru

Anastasia A. Stepanova, student of the Department of «Design and shipbuilding technology», Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951.

Tatyana A. Mikheeva, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Design and shipbuilding technology», Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 28.04.2020 г.

УДК 532.5

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.82>

ОЦЕНКА ВОЛНООБРАЗОВАНИЯ БОЛЬШЕГРУЗНОГО КАТАМАРАНА С РАЗЛИЧНЫМИ ФОРМАМИ ВНУТРЕННЕГО БОРТА

Е.Ю. Чебан

Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия
<https://orcid.org/0000-0002-0983-9879>

О.В. Маргемьянова

Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия
<https://orcid.org/0000-0001-9013-8510>

С.Г. Мигрошин

Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия
<https://orcid.org/0000-0001-9880-6720>

Н.Е. Зотова

Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия
<https://orcid.org/0000-0003-2323-1170>

А.В. Логвинов

Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия
<https://orcid.org/0000-0002-4613-6662>

Аннотация. Выполнено исследование численными методами волнообразования и сопротивления для большегрузного водоизмещающего катамарана в диапазоне чисел Фруда от 0,181 до 0,3 и диапазоне относительных клиренсов от 0,3 до 0,55. Использовались симметричные корпуса и корпуса с внутренним плоским бортом, разработанные на основе типовых обводов М.Я. Алферьева. Высоты корабельных волн, генерируемые корпусами катамаранов, и их сопротивление сравнивались с соответствующими результатами моделирования для крупного однокорпусного судна с шириной корпуса, равной общей ширине катамарана. Численное моделирование выполнялось в пакете FineMarine™. Получено, что сопротивление и высоты волн от однокорпусного судна и катамарана с плоским внутренним бортом превышают сопротивление и высоты волн катамарана с симметричными корпусами.

Ключевые слова: вычислительная гидродинамика, CFD, катамаран, буксировочные испытания, корабельные волны, интерференция волн, NUMECA FINE/Marine™, относительны клиренс

Введение

Современные условия требуют повышенных скоростей доставки грузов большегрузными судами на внутренних водных путях. Как показывает анализ литературы [1–6], одним из способов решения данной проблемы может быть использование большегрузных катамаранов, что позволит обеспечить более высокие скорости движения при допустимой высоте генерируемой судом корабельной волны.

Результаты исследования гидродинамических характеристик катамаранов приведены в работах большого числа авторов. В частности, разработкой методов расчета волнового сопротивления занимались Millward [6, 10], Костюков А.А., Ляховицкий

А.Г., Дубровский В.Г. [6], Войткунский Я.И. [6]. Необходимо отметить, что большое число выполненных исследований относится к движению морских катамаранов при высоких скоростях движения и, соответственно, высоких чисел Фруда ($Fr > 0.35 \dots 0.40$).

Для речных катамаранов, использующихся на внутренних водных путях (ВВП), необходимо выделить экспериментальные работы Алферьева М.Я. [7] по исследованию сопротивления катамаранов в зависимости от относительной длины L/B , расстояния между корпусами и ограниченных глубин, использованные при постройке серий грузовых и пассажирских речных катамаранов длиной от 40 до 95 м и скоростью хода до 27 км/ч.

Волновое сопротивление катамаранов зависит в том числе от волновых процессов, происходящих между их корпусами. Как показывают работы A. Souto-Iglesias, R. Zamora-Rodriguez, D. Fernandez-Gutierrez и L. Perez-Rojas [10], при $Fr \sim 0.3$ фактор интерференции может приобретать отрицательное значение, что может свидетельствовать о благоприятной интерференции волн и снижении волнового сопротивления.

В то же время использование только экспериментальных методов не позволяет получить полную информацию о характере гидродинамических процессов, происходящих при движении судов, в первую очередь, о распределении давлений по корпусу, а также в междукорпусном пространстве катамаранов. Для получения подобной информации целесообразно использовать методы вычислительной гидродинамики (CFD). Выполненные ранее исследования [14] показали адекватность использования различных программных продуктов при определении гидродинамических характеристик различных типов судов. Н.В. Могаес, J.M. Vasconcellos, R.G. Latorre в работе [9] численными методами исследовали влияние относительных размеров катамарана на сопротивление и волнообразование двух сдвоенных теоретических корпусов Wigley при $0.2 < Fr < 1$, $L=40$ м, $L/h=2-6$. В 2007 г. Md. Shahjada Tarafder, Kazuo Suzuki [11] с помощью численного метода решения уравнений для свободной поверхности были выполнены аналогичные исследования для глубокой воды.

Результаты исследований показывают [7–13], что при любом относительном клиренсе в очень узком диапазоне малых чисел Фруда до 0,3 коэффициент остаточного сопротивления может отличаться в два раза [6, 14]. С другой стороны, колебания этих значений гораздо меньше их максимальных значений при $Fr=0.45 \dots 0.50$ и меньше их в 3–6 раз при различных относительных глубинах. При $Fr < 0,5$ кривые при разных относительных клиренсах имеют значительные модуляции, а при $Fr > 0.5$ имеют вид стройного ансамбля кривых [7]. Для большегрузных катамаранов для ВВП [4–6, 14] необходимо выдерживать докритические значения чисел Фруда ($Fr < 0.3$) с учетом благоприятной интерференции волн и относительной глубины в диапазоне $L/h=21-14$.

Таким образом, при исследовании гидродинамики, в первую очередь, сопротивления и волнообразования катамаранных судов в условиях ВВП России можно ограничиться диапазоном чисел Фруда до значения 0.3 (рис. 1).

Целью настоящей работы является определения сопротивления и высот корабельных волн при движении большегрузного катамарана с симметричными корпусами и корпусами с плоским внутренним бортом методами вычислительной гидродинамики.

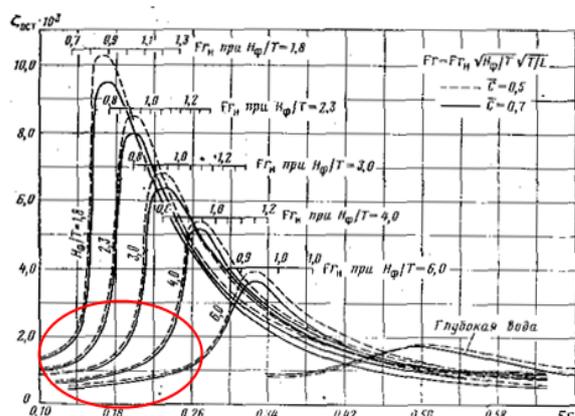


Рис. 1. График коэффициента остаточного сопротивления речных катамаранов по М.А. Альферьеву с указанием диапазона чисел Фруда для большегрузного катамарана

1. Численное моделирование буксировочных испытаний

Для численного моделирования использовалась геометрия корпусов большегрузных катамаранов на основе типовых обводов катамаранов М.Я. Алферьева, характеристики которых приведены в табл. 1. Для исследования процессов интерференции волн между корпусами катамаранов было выполнено сравнение сопротивления и волнообразования катамаранов с симметричными обводами (рис. 2) и катамаранов с плоским внутренним бортом (рис. 4). Кроме того, было проведено контрольное моделирование водоизмещающего судна с геометрическими характеристиками, близкими к большегрузному катамарану (рис. 5).

Для моделирования использовался программный комплекс FineMarine™, предназначенный для решения задач корабельной гидродинамики, в том числе определения гидродинамических характеристик водоизмещающих и скоростных судов. Возможность использования FineMarine™ для моделирования гидродинамики многокорпусных судов показана в работах [14].

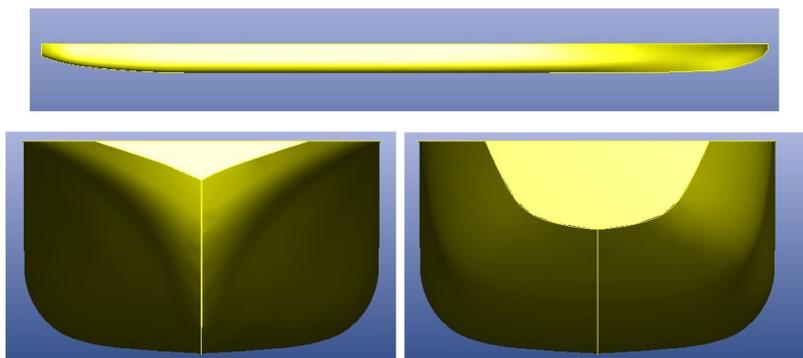


Рис. 2. Симметричный корпус катамарана

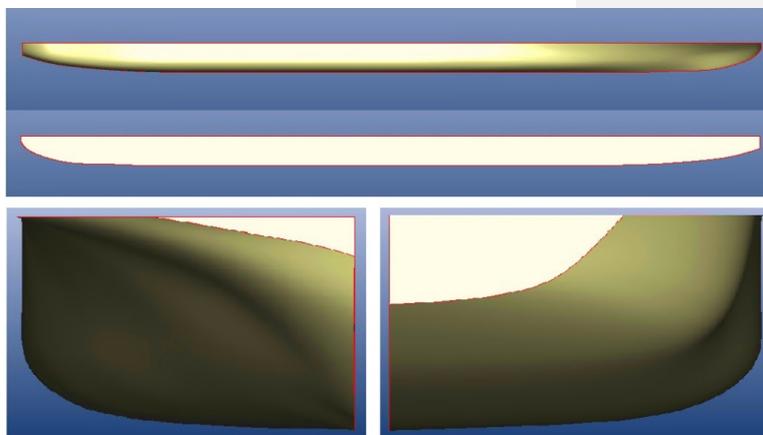


Рис. 3. Корпус катамарана с плоским внутренним бортом

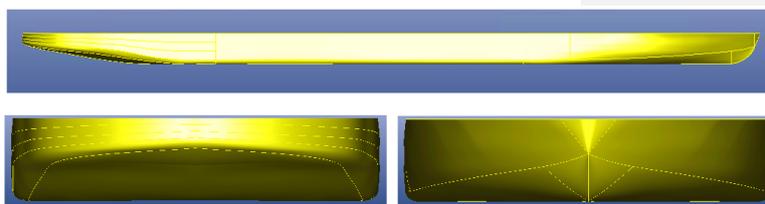


Рис. 4. Корпус водоизмещающего судна

Таблица 1

Параметры корпусов судов

	Катамаран с симметричными корпусами			Катамаран с плоским внутренним бортом			Водоизмещающее судно
	28	27	26	28	27	26	
Длина по КВЛ, м	150						150
Ширина по КВЛ, м	28	27	26	28	27	26	28
Ширина одного корпуса, м	10	9		10	9		28
Осадка по КВЛ, м	2,8						2,8
Высота борта, м	6						6
Относительный клиренс	0,3; 0,35; 0,4; 0,44; 0,5; 0,55						-
Скорость, м/с	7; 7,5; 8,1; 8,6; 9,17; 11,7						
Числа Фруда	0,181; 0,193; 0,21; 0,222; 0,237; 0,302						

Как было показано ранее [14], при моделировании катамаранов достаточно использовать только один корпус с соответствующими граничными условиями на границах расчетного домена (рис. 5), при которых обеспечивается равенство нулю нормальных и касательных скоростей на виртуальной стенке. Размеры расчетного домена выбирались на основании [16, 17] в зависимости от натуральных размеров судов и были постоянными для всех расчетных случаев.

Для построения неструктурированной расчетной сетки использовался модуль HEXPRESSTM. Учет трения в водоизмещающем режиме движения катамарана

обеспечивался подсеточным разрешением пограничного слоя – 20–22 при $y^+=30$ [17, 18]. Т.к. целью работы являлось определение высот корабельных волн, было выполнено локальное измельчение сетки в области их возникновения и распространения как вблизи корпуса, так и между корпусами в виде сектора (рис. 5). Общее количество ячеек составило от 4,2 млн. ячеек до 4,9 млн. ячеек, что обусловлено разными размерами корпусов и различным расстоянием между ними. Вид расчетной сетки показан на рис. 6.

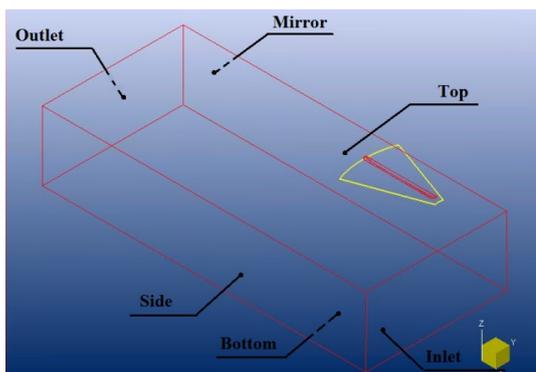


Рис. 5. Корпус водоизмещающего судна

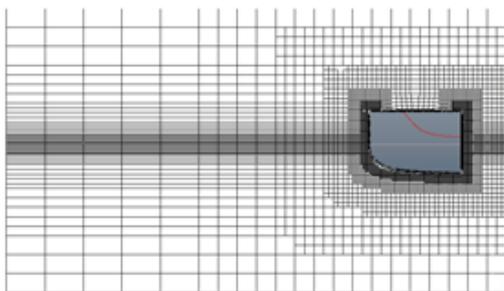


Рис. 6. Расчетная сетка

Параметры расчетной сетки приведены в табл. 2, настройки решателя – в табл. 3. Общее количество расчетных вариантов составило 78.

Таблица 2

Параметры расчетной сетки

	Параметр сетки	Значение
1.	Начальная сетка (x:y:z):	25:20:10
2.	Адаптация:	
	транцы	6
	борта	7
	палубы	4
3.	Свободная поверхность	8, (16.8: 16.8: 0,3166 0,13125);
4.	Адаптация волновой поверхности	8 (4,2:4,2:0,13125);

6.	y+	30
----	----	----

Таблица 3

Параметры расчета

	Параметр	Значение
1.	Количество степеней свободы	1 – движение вперед
2.	Постановка	стационарная задача
3.	Схема дискретизации по времени:	2 порядка назад
4.	Модель турбулентности	K- ω SST модель турбулентности с пристеночными функциями, EASM
5.	Разгонный участок [с]	14-28 сек.
6.	Параметры среды:	вода (24.5°): - молекулярная вязкость: $1.22 \text{ (Па}\cdot\text{с)} \times 10^{-3}$ - плотность: 999.07 кг/м^3 воздух (20°): - молекулярная вязкость: $1.85 \text{ (Н}\cdot\text{с/м}^2) \times 10^{-5}$ - плотность: 1.2 кг/м^3

2. Анализ результатов

На графиках рис. 7–9 приведены результаты численного моделирования сопротивления и волнообразования в зависимости от числа Фруда и относительного клиренса. Черной штрихпунктирной линией для сравнения показаны высоты волн однокорпусного судна шириной 28 м. и длиной 150 м. Высоты волн определялись по высоте волны носового и кормового буруна.

Из рассмотрения графиков видно, что кривые разделяются на две группы: для симметричного корпуса и корпуса с плоским внутренним бортом. При этом сопротивление и высота волны для катамарана с плоским внутренним корпусом ожидаемо получились выше. В случае малых чисел Фруда до 0.193 крупное однокорпусное генерирует меньшую по высоте волну, чем катамаран с плоским внутренним бортом. В то же время из рис. 8 видно, что высоты волн такого катамарана колеблются в очень широких пределах, т.е. увеличение высоты волны, как и сопротивления, обусловлено процессами, происходящими в междукорпусном пространстве. На рис. 9 для примера показана форма волновой поверхности для обоих типов корпусов. Максимальная высота волны, генерируемой катамаранами, оказывается не в носовой, а в кормовой части, что может свидетельствовать о неблагоприятной интерференции волн.

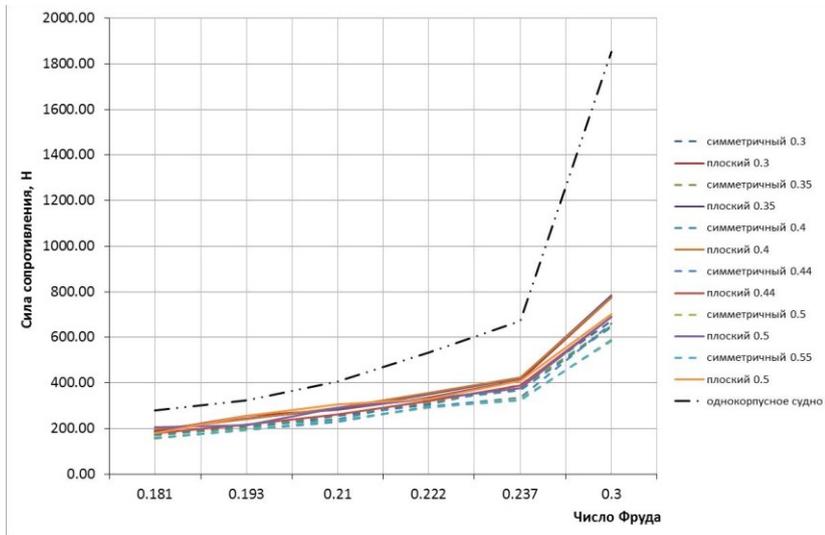


Рис. 7. Зависимость сопротивления от числа Фруда для двух вариантов корпуса катамарана при различном относительном клиренсе

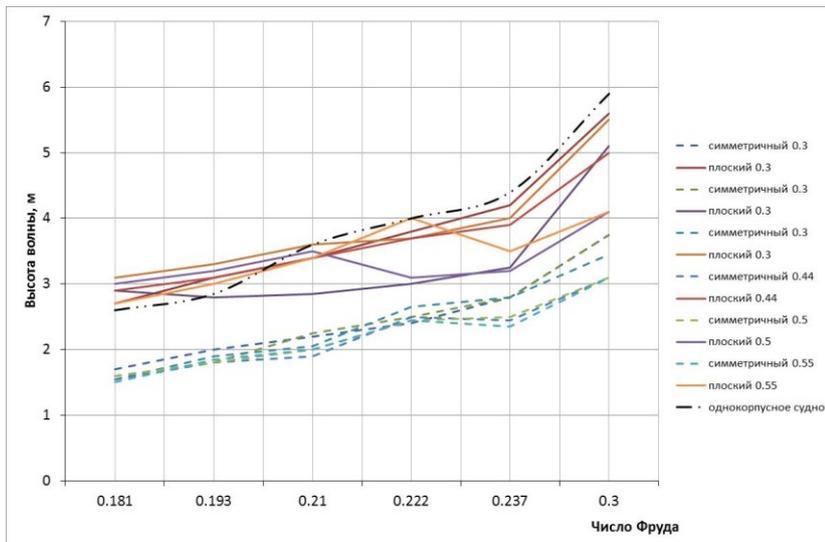


Рис. 8. Зависимость высоты волны от числа Фруда для двух вариантов корпуса катамарана при различном относительном клиренсе

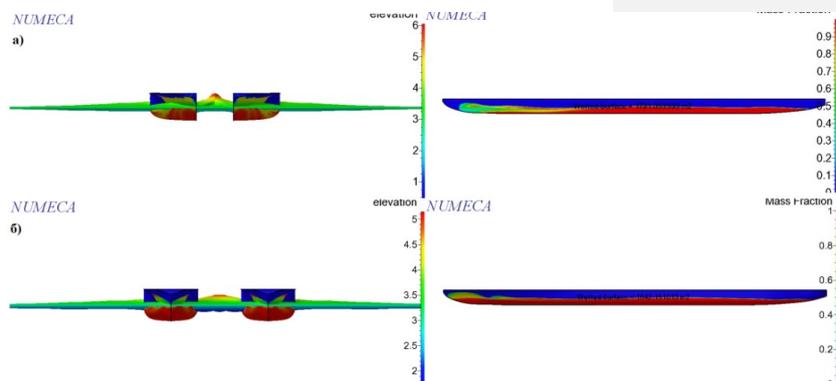


Рис. 9. Форма волновой поверхности для катамарана с плоским внутренним бортом (а) и симметричным корпусом (б) при $Fr=0,3$

При большом относительном клиренсе и высоких числах Фруда, высота волны для обоих типов корпусов снижается (рис. 10 и 11). Однако необходимо отметить, что для корпуса с плоским внутренним бортом на рис. 11 существуют минимумы высот волн при $Fr > 0,181$ и относительных клиренсах 0,35 и 0,5, что также может быть вызвано процессами трансформации волн между корпусами. Разница в высотах волн составляет 1–1,5 метра. Данный вопрос требует дальнейшей проработки, в частности, ввода условия обрушения волн.

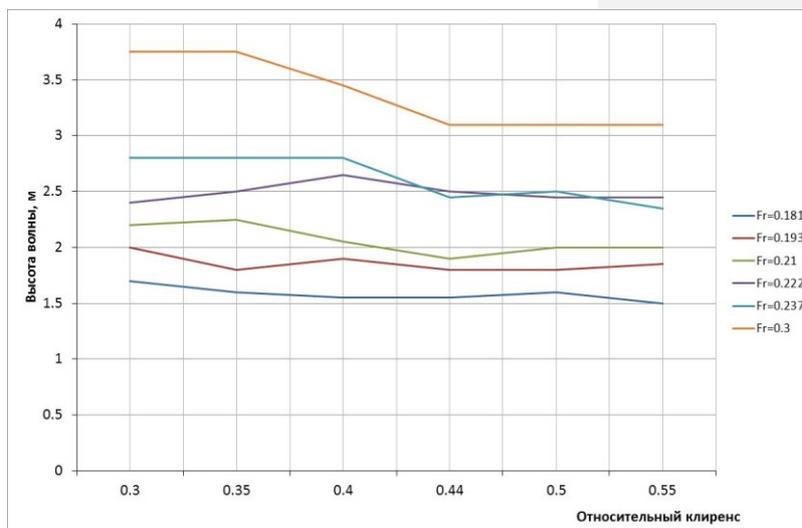


Рис. 10. Зависимость высоты волны от числа Фруда при различном относительном клиренсе для катамарана с симметричным корпусом

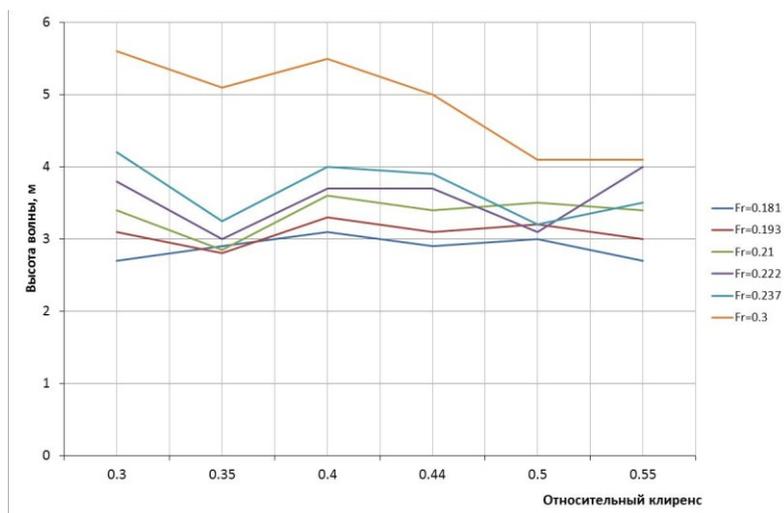


Рис. 11. Зависимость высоты волны от числа Фруда при различном относительном клиренсе для катамарана с плоским внутренним бортом

В целом, можно предполагать, что корпуса большегрузных катамаранов с плоским внутренним бортом обладают большим сопротивлением не только при числах Фруда больше 1, но и при более низких значениях. В то же время, сопротивление и волнообразование у катамаранных судов при $Fr > 0,22$ ниже, чем у однокорпусного судна с одинаковой шириной и длиной.

3. Заключение

С помощью пакета вычислительной гидродинамики FineMarine™ выполнено исследование сопротивления и высот волн для большегрузного катамарана с различными формами корпуса: симметричным и корпусом с плоским внутренним бортом. Для сравнения было выполнено аналогичное моделирование для однокорпусного судна с размерениями, соответствующими размерениям большегрузного катамарана. Получено, что высоты волн и сопротивление ниже у катамарана с симметричными корпусами при числах Фруда в диапазоне 0,181-0,3 и относительных клиренсах 0,3-0,55.

Авторы статьи благодарят д.т.н., проректора по научной работе ФГБОУ ВО «СПБГМТУ» Д.В. Никущенко за помощь при выполнении исследований.

Список литературы:

1. Этин В.Л., Лукина Е.А., Милавин С.А. «Проектирование речных скоростных грузовых накатных судов катамаранного типа». / 12-ый междунар. научно-промышленный форум «Великие реки-2010»: Труды конгресса. Т.2. Н. Новгород, Нижегород. госуд. архит.-строит. ун-т – Н. Новгород: НГАСУ, 2011. – С. 37–44.
2. Лукина Е.А., Битков Д.А. Оценка допустимой высоты волны от большегрузных накатных судов катамаранного типа при эксплуатации в Волжско-Камском бассейне./Вестник ВГАВТ. – Н.Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО ВГАВТ, 2011. - Вып. 27. – С. 159–164.
3. Этин В.Л., Лукина Е.А., Митрошин С.Г., Сироткин Е.М. Результаты сравнения параметров корабельных волн от судов различных типов с помощью модельных испытаний. / Труды 16-го международного научно-промышленного форума «Великие реки – 2014». Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов «Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек». Т. 1. – Н. Новгород: изд-во ФГБОУ ВО «ВГАВТ», 2014. 330 с.

4. Лебедева М.Н. Катамаран в русле больших скоростей // Мир транспорта, т. 14, № 2, С. 38–47 (2016).
5. Кузьмичёв И.К., Лукина Е.А., Митрошин С.Г., Чебан Е.Ю. Оценка волнообразования большегрузного катамарана для внутренних водных путей // Морские интеллектуальные технологии. 2017. Т. 3. № 4 (38). С. 99–105.
6. Лукина Е.А. Анализ литературы по исследованию минимального сопротивления большегрузных катамаранов внутреннего плавания [электронный ресурс] // Труды 15-го международного научно-промышленного форума «Великие реки-2013» (15–18 мая 2013 г.). Выпуск 2013. С. 287–291. – Режим доступа : <http://vf-река-море.рф/2013/PDF/91.pdf> свободный.
7. Алферьев М.Я. Транспортные катамараны внутреннего плавания / М.Я. Алферьев, Г.С. Мадорский. – М.: Транспорт, 1976. – 336 с.
8. Souto-Iglesias A., Zamora-Rodriguez R., Fernandez-Gutierrez D. и Perez-Rojas L. Analysis of the wave system of a catamaran for CFD validation. *Experimental Fluids* (2007) 42:321–332 DOI 10.1007/s00348-006-0244-4
9. Moraes H.B., Vasconcellos J.M., Latorre R.G.. Wave resistance for high-speed catamarans. *Ocean Engineering* 31 (2004) 2253–2282
10. Millward A., Sproston J.L. 1988. The prediction of the resistance of fast displacement hull in shallow water. Royal Institution of Naval Architects, Maritime Technology Monograph, No. 4.
11. MdShahjada Tarafiera, Kazuo Suzuki. Computation of wave-making resistance of a catamaran in deep water using a potential-based panel method. *Ocean Engineering* 34 (2007) 1892–1900.
12. Riccardo Broglia, Stefano Zaghi, Andrea Di Mascio. Numerical simulation of interference effects for a high-speed catamaran. *J MarSci Technol* (2011) 16:254–269. / DOI 10.1007/s00773-011-0132-3 [Численное моделирование интерференционного эффекта высокоскоростного катамарана. (Италия, 2011 г.) Режим доступа : <http://www/sciencedirect.com>, свободный.]
13. Mizine I., Karafath G., Queutey P., Visonneau M. Interference Phenomenon in Design of Trimaran Ship, FAST 2009, 2009.
14. Чебан Е.Ю., Лукина Е.А., Мартемьянова О.В., Кшталтная М.Н. Оценка сопротивления большегрузного катамарана численными методами // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2019. № 60. С. 122–132.
15. Многокорпусные суда / А.Н. Алексеев [и др.]; под ред. В.А. Дубровского. – Л.: Судостроение, 1978. – 304 с.
16. Theoretical Manual ISIS-CFD v3.1 Equipe Modélisation Numérique, Laboratoire de Mécanique des Fluides, CNRS-UMR 6598, Ecole Centrale de Nantes, B.P. 92101, 44321 Nantes Cedex 3, France.
17. User Manual FINETM/Marine v3.1, Documentation v3.1a NUMECA International, 187–189, Chaussée de la Hulpe 1170 Brussels, Belgium.
18. Абрамеев Э.А., Рабинович Я.С. Некоторые гидродинамические особенности катеров-катамаранов. / «Катера и Яхты», Л.: «Судостроение». 1977 г., №70. с. 56–58.

ESTIMATION OF THE WAVE FORMATION FOR EXTRA-CAPACITY CATAMARAN WITH VARIOUS FORMS OF INNER SIDES

Egor Yu. Cheban

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Olga V. Martemianova

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Sergey G. Mitroshin

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Natalia E. Zotova

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Alexei V. Logvinov

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The research was carried out by numerical methods of wave formation and resistance for an extra-capacity displacement catamaran in the range of Froude numbers from 0.181 to 0.3 and the range of relative clearance from 0.3 to 0.55. Symmetrical hulls and hulls with an inner flat side, developed on the basic lines of M. Ya. Alferiev were used. The ship

wave heights generated by the hulls of the catamarans and their resistance were compared with the corresponding simulation results for a large mono-hull vessel with a hull width equal to the total width of the catamaran. Numerical simulation was performed in the FineMarineTM software package. It was found that the resistance and wave heights from a mono-hull vessel and a catamaran with a flat inner side exceed the resistance and wave heights of a catamaran with symmetrical hulls.

Keywords: computer fluid dynamics, CFD, catamaran, towing test, ship waves, wave interference, NUMECA FINE / MarineTM, relative clearance

References

1. Etin V.L., Lukina E.A., Milavin S.A. «Proektirovanie rechnykh skorostnykh gruzovykh nakatnykh sudov katamarannogo tipa». / 12-yy mezhdunar. nauchno-promyshlenny forum «Velikie reki-2010»:Trudy kongressa. T.2. N. Novgorod, Nizhegorod. gosud. arkhiv.-stroit. un-t – N. Novgorod: NGASU, 2011. – S.37-44.
2. Lukina E.A., Bitkov D.A. Otsenka dopustimoy vysoty volny ot bol'shegruznykh na-katnykh sudov katamarannogo tipa pri ekspluatatsii v Volzhsko-Kamskom bassejne./Vestnik VGAVT. – N.Novgorod: Izd-vo FGOU VPO VGAVT, 2011. -Vyp.27. – S.159-164.
3. Etin V.L., Lukina E.A., Mitroshin S.G., Sirotkin E.M. Rezul'taty sravneniya parametrov korabel'nykh voln ot sudov razlichnykh tipov s pomoshch'yu model'nykh ispytaniy. / Trudy 16-go mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma «Velikie reki – 2014». Materi-aly nauchno-metodicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov, spetsialistov i studentov «Problemy ispol'zovaniya i innovatsion-nogo razvitiya vnutrennikh vod-nykh putey v basseynakh velikikh rek». Tom 1. – N. Novgorod: izd-vo FGBOU VO «VGAVT», 2014. 330 s.
4. Lebedeva M.N. Katamaran v rusle bol'shikh skorostey // Mir Transporta, tom 14, № 2, S. 38–47 (2016).
5. Kuzmichev I.K., Lukina E.A., Mitroshin S.G., Cheban E.Y. Evaluation of wave formation of a large cargo catamaran for inland waterways // Marine intelligent technologies. 2017. T. 3. № 4 (38). C. 99–105.
6. Lukina E.A. Analiz literatury po issledovaniyu minimal'nogo soprotivleniya bol'shegruznykh katamaranov vnutrennego plavaniya [elektronnyy resurs] // Trudy 15-go mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma «Velikie reki-2013» (15-18 maya 2013 g.). Vypusk 2013. S.287-291. – Rezhim dostupa : <http://vfreka-more.rf/2013/PDF/91.pdf> svobod-nyy.
7. Alfer'ev M.Ya. Transportnye katamarany vnutrennego plavaniya / M.Ya. Alfer'ev, G.S. Madorskiy. – M.: Transport, 1976. – 336s.
8. Souto-Iglesias A., Zamora-Rodriguez R., Fernandez-Gutierrez D. и Perez-Rojas L. Analysis of the wave system of a catamaran for CFD validation. Experimental Fluids (2007) 42:321–332 DOI 10.1007/s00348-006-0244-4
9. Moraes H.B., Vasconcellos J.M., Latorre R.G. Wave resistance for high-speed cat-amarans. Ocean Engineering 31 (2004) 2253–2282
10. Millward, A., Sproston, J.L., 1988. The prediction of the resistance of fast displacement hull in shallow water. Royal Institution of Naval Architects, Maritime Technology Mono-graph, No. 4.
11. Md Shahjada Taraflera, Kazuo Suzuki. Computation of wave-making resistance of a catamaran in deep water using a potential-based panel method. Ocean Engineering 34 (2007) 1892–1900.
12. Riccardo Broglia, Stefano Zaghi, Andrea Di Mascio. Numerical simulation of interference effects for a high-speed catamaran. J Mar Sci Technol (2011) 16:254–269./ DOI 10.1007/s00773-011-0132-3 [Численное моделирование интерференционного эффекта высокоскоростного катамарана. (Италия, 2011 г.) Режим доступа : <http://www/sciencedirect.com>, свободный.]
13. Mizine I., Karafath G., Queutey P., Visonneau M. Interference Phenomenon in De-sign of Trimaran Ship, FAST 2009, 2009.
14. Cheban E.Yu., Lukina E.A., Martmianova O.V., Kshtalnaya M.N. Ocenka soprotivleniya bol'shegruznogo katamarana chislennymi metodami // Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. 2019. № 60. S. 122-132.
15. Mnogokorpusnye suda / A.N. Alekseev [i dr.]; pod red. V.A. Dubrovskogo. – L.: Su-dostroenie, 1978. – 304 s.
16. Theoretical Manual ISIS-CFD v3.1 Equipe Modélisation Numérique, Laboratoire de Mécanique des Fluides, CNRS-UMR 6598, Ecole Centrale de Nantes, B.P. 92101, 44321 Nantes Cedex 3, France.

17. User Manual FINE™/Marine v3.1, Documentation v3.1a NUMECA International, 187-189, Chaussee de la Hulpe 1170 Brussels, Belgium.

18. Afameev E.A., Rabinovich YA.S. Nekotorye gidrodinamicheskie osobennosti katerov-katamaranov / «Katera i YAhty», L.: «Sudostroenie». 1977 g., №70. s. 56–58.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Чебан Егор Юрьевич

к.т.н., доцент кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

E-mail: egor.cheban.2@gmail.com

Мартемьянова Ольга Вадимовна

аспирант кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

e-mail: dovnn@yandex.ru

Митрошин Сергей Григорьевич

к.т.н., начальник управления научных исследований и инновационной деятельности, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

mitroshin@vsawt.com

Зотова Наталья Евгеньевна

магистрант кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

willgelmena@yandex.ru

Логвинов Алексей Владимирович

магистрант кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

alexpmhihx@gmail.com

Egor Yu. Cheban

PhD., associate professor of the Department of Hydrodynamics, Ship Theory and ecological safety Mechanics, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951
Email: egor.cheban.2@gmail.com

Olga V. Martemianova

post graduate student Hydrodynamics, ship theory and ship's ecological safety department, Volga State University of Water Transport 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951
e-mail: dovnn@yandex.ru

Sergey G. Mitroshin

PhD, associate professor, Head of scientific research and innovative activity Department, Volga State University of Water Transport 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951
mitroshin@vsawt.com

Natalia E. Zotova

master student Hydrodynamics, ship theory and ship's ecological safety department, Volga State University of Water Transport 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951
willgelmena@yandex.ru

Alexei V. Logvinov

master student Hydrodynamics, ship theory and ship's ecological safety department, Volga State University of Water Transport 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951
alexpmhihx@gmail.com

Статья поступила в редакцию 12.05.2020 г.

Раздел III

**Экономика, логистика, управление
на транспорте**

Section III

***Economics, logistics and transport
management***



УДК 656.025

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.83>

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК ВНУТРЕННИМ ВОДНЫМ ТРАНСПОРТОМ

В.И. Мишеев

Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5079-7922>

В.М. Иванов

Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0195-934X>

М.В. Иванов

Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9119-9232>

Аннотация. В статье дается анализ развития рынка контейнерных перевозок на международном и отечественном уровне. Отмечается, что, несмотря на абсолютный рост объема контейнерных перевозок за последние годы, темпы его прироста начиная с 2005 года снижаются. Увеличение перевозок было отмечено на основных направлениях, включая направление Европа–Азия–Европа, транстихоокеанское и трансатлантическое направления. Наибольший рост объемов перевозок контейнеров за рассматриваемый период произошел на направлении Европа – Азия. На российском рынке контейнерных перевозок устойчивую динамику роста демонстрируют железнодорожные перевозки. Перевозки контейнеров водным транспортом в 2017 году составили лишь 4% от общего объема перевозок контейнеров в России. Перевозки же внутренним водным транспортом составили 0,5%, что свидетельствует об их практическом прекращении. Рассмотрены возможные маршруты и основные факторы, сдерживающие развитие контейнерных перевозок внутренним водным транспортом. Обозначены основные проблемы, препятствующие развитию контейнерных перевозок в целом и на водном транспорте в частности. Предложены возможные варианты решения выявленных проблем развития перевозок грузов в контейнерах с акцентированием на преимущественное использование внутреннего водного транспорта.

Ключевые слова: контейнерные перевозки, экспорт, импорт, внутренние перевозки, транспортные коридоры, речной транспорт, экология, флот, портовая инфраструктура.

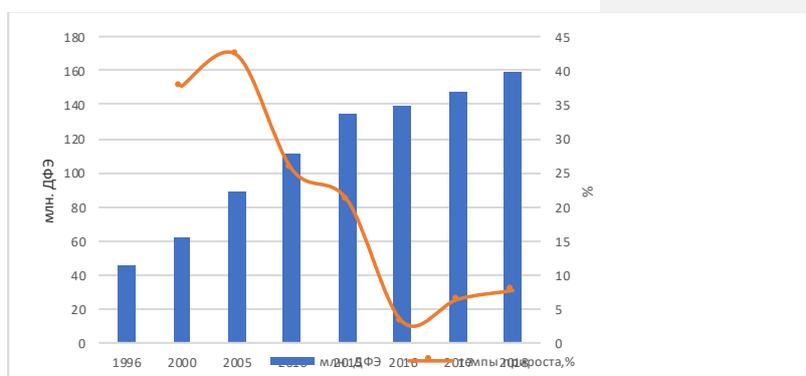
Введение

Перевозки грузов в контейнерах получили широкое распространение в советское время. При этом значительная их часть выполнялась с привлечением внутреннего водного транспорта. Активно работали специализированные речные контейнерные линии, использовались прямые смешанные железнодорожно-водные схемы. Однако после 90-х годов прошлого столетия перевозка грузов в контейнерах речными судами практически прекратилась. Особенно это заметно в европейской части страны. В то же время, как показывает международная практика, сегодняшнее состояние рынка контейнерных перевозок невозможно представить без использования водного (морского и речного транспорта). Поэтому авторами статьи предпринята попытка осмыслить сложившуюся

в России ситуацию и с использованием мирового опыта сформулировать некоторые пути возрождения контейнерных перевозок внутренним водным транспортом.

Основная часть

Анализ международного рынка транспортных услуг [1–5] свидетельствует о развитии технологий контейнеризации грузов и рынка контейнерных перевозок. Однако, несмотря на абсолютный рост объема контейнерных перевозок за период с 1996 по 2018 годы, необходимо отметить, что начиная с 2005 года темпы его прироста снижались, достигнув своего минимума в 2016 году, который составил лишь 3,1%. В 2017 году конъюнктура на этом рынке улучшилась, и на всех направлениях перевозок был отмечен значительный рост. В 2017 году объем мировых контейнерных перевозок возрос на 6,4%, что является самым высоким темпом с 2011 года. Благодаря различным позитивным тенденциям объем таких перевозок достиг 148 млн. ДФЭ¹ (рис. 1).



Источник: Расчеты секретариата ЮНКТАД на основе MDS Transmodal, 2018.

Примечание: Данные за 2018 год основаны на оценках.

Рис. 1. Динамика мировых контейнерных перевозок

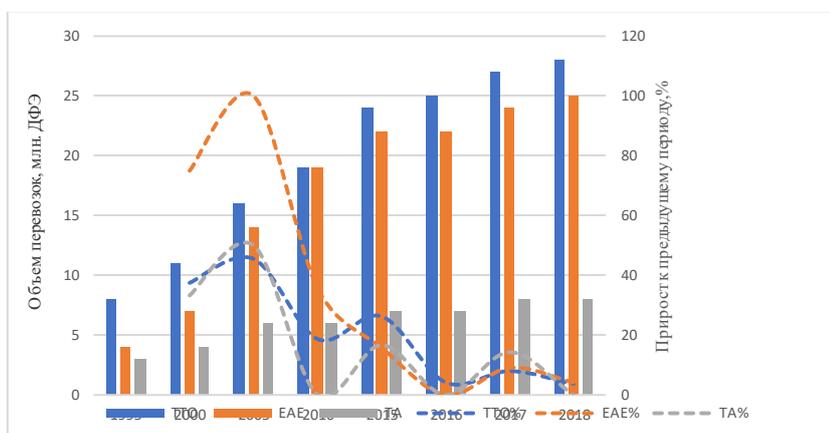
В качестве позитивных тенденций, способствовавших росту объема контейнерных перевозок в последние годы, можно назвать прекращение экономического спада в Бразилии и России, рост потребительского спроса в Соединенных Штатах, повышение цен на сырьевые товары, устойчивый импортный спрос со стороны Китая и быстрое увеличение торговли между азиатскими странами.

Увеличение перевозок было отмечено на основных направлениях, включая направление Европа–Азия–Европа (ЕАЕ), транстихоокеанское (ТТО) и трансатлантическое (ТА) направления (рис. 2). Наибольший рост объемов перевозок контейнеров за рассматриваемый период произошел на направлении Европа–Азия–Европа, где он увеличился в 6,2 раза. Объемы перевозок на транстихоокеанском направлении возросли в 3,5 раза, а на трансатлантическом направлении – в 2,7 раза. Однако в целом наибольший объем контейнерных перевозок приходился на транстихоокеанское направление.

Вместе с тем, после относительно высокого роста контейнерных перевозок по всем направлениям в 2005 году в дальнейшем наблюдается сокращение темпов прироста объема перевозок так же по всем направлениям. Отдельно необходимо отметить значительный рост объемов перевозок контейнеров в направлении Азия–Европа–Азия,

¹ Двадцатифутовый эквивалент (ДФЭ): Twenty-foot Equivalent Unit (TEU) – единица измерения, равная объему, занимаемому стандартным 20-футовым контейнером (рис. 2.8). Используется в подсчете пропускной способности контейнерных терминалов или вместимости грузовых транспортных средств.

который в отдельные годы перекрывал рост на самом загруженном транстихоокеанском направлении (рис. 2).



Источник: Расчеты секретариата ЮНКТАД на основе Economic Commission for Latin America and the Caribbean, 2010. Начиная с 2009 года на основе данных, представленных компаниями «МДТ Трансмодал» и «Кларксонс Рисерч».

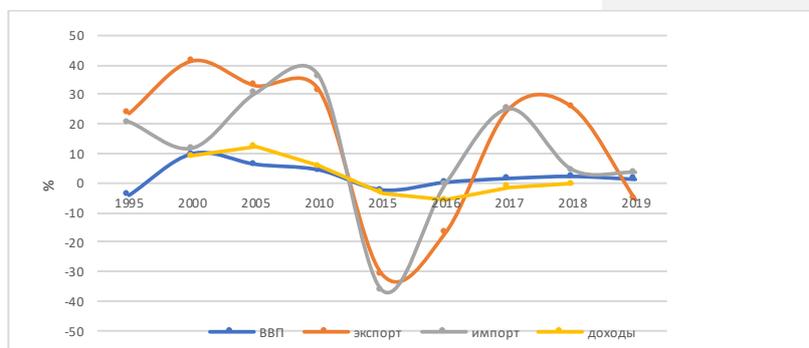
Рис. 2. Контейнерные потоки на основных направлениях перевозок Восток – Запад

Динамика мирового контейнерного рынка в 2019 году не оправдала ожиданий экспертов. В течение года оптимистические ожидания (рост 4%) сменялись более сдержанными: от 2,2% (Clarksons) до 2,6% (Drewry) [6]. Одной из причин эксперты называют ослабление мировой экономики в результате торговой войны между Китаем и США. На 2020 год прогнозы развития рынка контейнерных перевозок носят осторожно-оптимистичный характер: 3,3% относительно уровня 2019 года.

Таким образом можно отметить, что мировой контейнерный рынок характеризуется устойчивым ростом. Наиболее быстрыми темпами развивались перевозки по маршруту Европа-Азия-Европа. Вместе с тем темпы прироста в последние годы под влиянием целого ряда отрицательных факторов не превышают 4% [7].

Возможности развития российского рынка контейнерных перевозок зависят от роста промышленного производства, доходов населения, формирующих спрос на промышленные товары. Динамика ВВП, товарооборота России и доходов населения за период 1995–2019 годы приведена на рис. 3. За последние годы динамика ВВП демонстрирует неустойчивые темпы роста. Ожидания Минфина России о росте показателя в 2020 году на 2,3%, по всей видимости, не сбудутся из-за резкого падения цен на нефть и пандемии коронавируса. Аналогичным образом ведут себя динамики экспорта и импорта. В 2018 году импорт уменьшился по сравнению с предыдущим годом на 20,6%, а экспорт сократился в 2019 году на 26,3%. Вместе с тем необходимо отметить, что за рассматриваемый период товарооборот России в долларовом исчислении увеличился более чем в 5 раз.

На рис.3 также приведена динамика реальных располагаемых доходов населения Российской Федерации. Она свидетельствует о том, что данный показатель имеет устойчивую пятилетнюю тенденцию падения. 2018 год показал, что доходы населения находятся на уровне 2009–2010 годов, а относительно 2000 года падение составило немногим более, чем два раза. В 2019–2020 годах реальные доходы населения, вероятнее всего, ускорят свое падение.



Источник: Данные Росстата

Рис. 3. Динамика ВВП, товарооборота России и доходов населения

Анализ динамики перевозок грузов в контейнерах железнодорожным и водным видами транспорта (рис. 4) показал, что железнодорожный транспорт в период с 2000 по 2018 годы нарастил объем работы по данному виду перевозок почти в 4 раза, что составило в 2018 году 41,9 млн. тонн. В свою очередь, перевозки контейнеров морским транспортом за этот период сократились на 30%, а внутренним водным – на 50%.

По итогам 2019 года прирост железнодорожного российского контейнерного рынка составил порядка 9%. Такой результат обеспечили два сегмента: транзит Китай-Европа (+22%) и экспорт пиломатериалов в Китай (+14%). В 2020 году по аналогии с мировыми тенденциями развития перевозок грузов в контейнерах ожидается прирост железнодорожного российского контейнерного рынка в районе 7%.

Перевозки контейнеров водным транспортом (как морским, так и внутренним водным), в отличие от железнодорожных, носят неустойчивый характер, демонстрируя переход от резкого роста к такому же резкому падению.



Источник: Транспорт в России. Росстат. 2018 год

Рис. 4. Динамика объемов перевозок грузов в контейнерах

Историю развития массовых речных перевозок грузов в контейнерах целесообразно рассматривать с 1949 года, когда была организована их транспортировка в смешанном железнодорожно-водном сообщении на условиях срочного возврата. В 1952 году начала функционировать первая речная регулярная контейнерная линия Москва – Горький.

Постепенно, не отказываясь от использования контейнеров Министерства путей сообщения СССР (МПС), предприятия водного транспорта начали самостоятельно изготавливать контейнеры. В итоге, с ростом контейнерного парка Министерства речного флота РСФСР (Минречфлота) и МПС появилась возможность совместного использования железнодорожных и водных контейнеров на принципах равночисленного обмена (1963 год).

Наибольшее развитие перевозки грузов в контейнерах на внутреннем водном транспорте получили в 1970–1985 гг. Основу контейнерного парка составляли трех- и пятитонные контейнеры. Наибольший удельный вес перевозок грузов в контейнерах приходился на европейскую часть страны. Здесь в условиях работы пароходств Центрального и Северо-Западного бассейнов было организовано движение флота по расписанию на контейнерных линиях. Интервал отправления судов, грузоподъемность которых составляла от 1000 до 2000 тонн тоннажа, на линиях составлял 4–8 суток, и обслуживали они практически все порты указанных пароходств.

По мере развития контейнерных перевозок происходило увеличение размеров и грузместимости контейнеров, поэтому в 1977 году на Волге наряду с традиционными в то время трех- и пятитонными контейнерами начали осваивать перевозки десяти- и двадцатитонных контейнеров.

К сожалению, начиная с 90-х годов водные перевозки грузов в контейнерах постепенно сошли на нет. Не стало речных контейнерных линий, существенно сократились объемы перевозок в прямом смешанном железнодорожно-водном сообщении. В итоге, практически полностью утеряна клиентская база речных контейнерных перевозок. Как следствие, судоходные компании перестали нуждаться в собственном контейнерном парке.

Перспективным направлением развития контейнерных перевозок внутренним водным транспортом России эксперты называли маршруты между Москвой, Санкт-Петербургом и южными портами. Пилотный проект по развитию внутреннего водного транспорта предполагалось провести в Волжском бассейне как основной магистрали международного транспортного коридора (МТК) «Север-Юг» (рис. 5). Проект был призван повысить востребованность речного транспорта на рынке транспортных услуг в целом и рынке контейнерных перевозок в частности [8,9].

Конечными пунктами назначения МТК «Север-Юг» на территории России являются порты Санкт-Петербурга и Усть-Луги. При проектировании коридора именно на них возлагалась основная нагрузка по получению грузов из государств Персидского залива, Индии и стран Юго-Восточной Азии и дальнейшей их отправки в страны Северной Европы. Согласно транспортной стратегии, Россия имеет возможность нарастить не только собственный грузооборот по данному маршруту, но также получить существенный доход от транзита. От стыковки МТК «Север-Юг» с транспортным коридором ТРАСЕКА, проходящим из Центральной Азии через Каспийское море, Кавказ, Черное море, Украину, Молдову и страны Восточной Европы в ЕС, рассчитывают выиграть также и страны-транзитеры.

Однако статистические данные ФТС России свидетельствуют о том, что динамика торговли России с Ираном за период с 2010 по 2017 гг. – неудовлетворительная. Экспортно-импортные операции между Россией и Ираном за этот период стабильно сокращались. Если в 2010 году их объем в денежном выражении составлял \$3,6 млрд., то в 2017 году – всего \$1,7 млрд. Индия как торговый партнер оказалась более надежной, среднегодовой объем торговых сделок составил порядка \$10 млрд. при максимуме в 2012 году в объеме \$10,6 млрд. и снижении в 2017 году до \$9,3 млрд. Показатели внешней торговли России с Пакистаном в 2010–2017 годах тоже не росли, остановившись на отметке около \$0,5 млрд. в год.



Рис. 5. МТК «Север – Юг – Север»

В «Стратегии развития российских морских портов в Каспийском бассейне, железнодорожных и автомобильных подходов к ним до 2030 года» отмечается, что товарооборот между Россией и целевыми рынками стагнирует, и признаков его наращивания не наблюдается. За шесть лет, отмечается в этой же стратегии, грузооборот трех каспийских портов (Астрахань, Оля и Махачкала) в сумме сократился с 10,9 млн. тонн в 2010 году до 6 млн. тонн в 2016 году [10].

Подводя итог возможности использования коридора «Север–Юг–Север» для развития контейнерных перевозок внутренним водным транспортом необходимо иметь в виду, что его существенным отличием от Транссибирского контейнерного маршрута со знаком «минус» является то, на первом отсутствует какого-либо системное управление. На необходимость создания соответствующего координирующего органа или хотя бы какой-то структуры, имеющей правовые полномочия по регулированию организации движения грузов в рамках коридора «Север-Юг» ученые и практики обратили внимание давно, но до настоящего времени этот вопрос находится в стадии проработки.

Дальний Восток и Забайкалье, европейскую часть России, Урал и Сибирь можно отнести к регионам зарождения и погашения внутренних грузопотоков в контейнерах. При этом европейская часть России является своего рода активным донором для Сибири и Урала. В европейской части России первое место по экспорту занимает перевозка грузов через порты Северо-Западного бассейна. Существенно от импорта отличается и структура экспортных перевозок грузов в контейнерах. В основном, это продукция целлюлозно-бумажных комбинатов, химические вещества, металлы.

Порты Черного моря осуществляют перевалку как внутренних, так экспортно-импортных грузов в контейнерах, предназначенных в первую очередь для регионов европейской части страны. Очевидно, что они могут быть освоены внутренним водным транспортом при создании контейнерных линий из Ростова-на-Дону в Москву и Санкт-Петербург со стыковкой в портах Волги с грузопотоками транспортных коридоров «Север-Юг» и «Запад-Восток».

В целях повышения востребованности речного транспорта на рынке контейнерных перевозок в свое время было принято решение о создании «Свияжского межрегионального мультимодального логистического центра». Это центр, расположенный на

пересечении международных транспортных коридоров «Север-Юг» и «Запад-Восток», состыкован с федеральными транспортными магистралями железнодорожного, водного, автомобильного транспорта. Данный логистический центр является пилотным проектом и предназначен для обработки грузопотоков в рамках транспортных коридоров «Транссиб» и «Север-Юг», а также «Европа-Западный Китай». Первая очередь центра была сдана в эксплуатацию в 2015 году. Сегодня важнейшей задачей является позиционирование Свяжского межрегионального мультимодального логистического терминала как транспортно-логистического центра Поволжского региона. Терминал в состоянии стать как крупным узловым речным портом для перевозки грузов в регионах Поволжья, так и перевалочным пунктом экспортно-импортных грузов в рамках международных транспортных коридоров.

Выполненный авторами статьи анализ выявил ряд факторов, сдерживающих развитие перевозок грузов в контейнерах как в целом, так и на речном транспорте в частности.

В настоящее время транспортный рынок характеризуется высоким уровнем отраслевой конкуренции. Из курса экономической теории известно, что наличие конкуренции хорошо, когда у потребителя есть право выбора. Однако, если конкуренция приводит к монополии одного вида транспорта, то последствия для потребителей транспортных услуг уже достаточно непредсказуемы. Так, например, произошло в европейской части России, когда за счет демпинговой политики железная дорога забрала у водного транспорта на параллельных речных путях контейнерные маршруты с длинным плечом. На коротких же плечах (в пределах 100 км) конкуренцию водному транспорту составляют автомобильные предприятия – в первую очередь, за счет устранения необходимости в промежуточной перевалке. В итоге, как было сказано выше, водные контейнерные перевозки в европейской части страны исчезли.

Вместе с тем, как показывает зарубежный опыт, собственники транспортных предприятий, в том числе и разных видов транспорта, активно переходят от прямой жесткой конкуренции между собой на взаимовыгодное сотрудничество [11,12]. Для водного транспорта основными конкурентами являются железнодорожный и автомобильный виды транспорта. Понятно, что просто так передать конкурентам контейнерные грузопотоки не согласится ни один вид транспорта. Транспортная политика ряда государств ЕС направлена на стимулирование переключения грузопотоков с длинными плечами с автомобильного на железнодорожный и водный виды транспорта (Европейская комиссия, 2011). Однако как отмечают в своей работе Дж. Армстронг и Дж. Престон [13], например, в Швеции только низкая пропускная способность железных и автомобильных дорог вынудила передать грузы на водный транспорт.

Но по мере развития транспортных коммуникаций все больше приходит понимание того, что только объединив усилия транспортные компании смогут выжить в условиях конкуренции. В связи с этим очень интересно выглядит новая логистическая концепция синхромодальности, разработанная и внедренная в регионе Бенилюкса в течение последнего десятилетия. В работе группы итальянских ученых под синхромодальностью понимается «...предоставление эффективных, надежных, гибких и устойчивых услуг посредством координации сотрудничества заинтересованных сторон и синхронизации операций в рамках одной или нескольких цепочек поставок, основанных на информации и технологии коммуникаций (ИКТ) и интеллектуальных транспортных системах (ИТС)» [14]. По мнению авторов статьи, синхромодальность – это новый шаг после модальности и интермодальности, направленный на снижение затрат, выбросов и сроков доставки при сохранении качества обслуживания цепочки поставок посредством разумного использования доступных ресурсов и синхронизации транспортных потоков.

Водные пути, связанные с автомобильной и железнодорожной инфраструктурой, обеспечивают большую гибкость в выборе маршрутов перевозок, что в итоге несет ощутимые экономические выгоды для логистических операторов [12]. Однако в

настоящее время крупнейшая водная магистраль европейской части страны – река Волга с ее притоками – не в состоянии выполнять свое предназначение. Основная причина – это наличие лимитирующих участков на реке Волге, в частности участка в районе Городца, где за 62 года работы Нижегородской ГЭС произошло падение судоходных глубин в камерах шлюза и на перекатах. Сейчас летом на порогах шлюзов №15-16 Городецкого гидроузла глубина в 3 метра поддерживается всего четыре-пять часов в сутки, то есть большегрузные суда через шлюз могут пройти только в это время. Задержка транзитных судов при прохождении Городецкого гидроузла в навигацию 2019 года в среднем составляла трое суток. Другими словами, транзитные перевозки грузов практически полностью парализованы в этом водном коридоре, а крупнейшая река Европы разделена на два больших участка.

К сожалению, строительство Нижегородской низконапорной плотины «заморозили» еще на пять лет. Ранее запуск планировался на 2020 год, теперь дата сдвинулась на 2025 год. Деньги, выделенные на гидроузел, будут направлены на реализацию нацпроекта «Безопасные и качественные дороги». Последствием такого решения является дальнейшее сокращение объемов перевозок грузов по Волге, поскольку по результатам долгосрочного прогноза и сценарных условий на заседании межведомственной рабочей группы по регулированию режимов работы водохранилищ Волжско-Камского каскада, с учетом складывающейся гидрологической и водохозяйственной обстановки прогнозируется, что в навигацию 2020 года через лимитирующий участок г. Городец – г. Нижний Новгород ограничения прохождения судов с осадкой 3,0 м будет с 11 июля, судов с осадкой 2,6 м – с 11 сентября, судов с осадкой 2,3 м – с 1 октября.¹

К проблемам, сдерживающим возрождение речных контейнерных перевозок, можно отнести отсутствие специализированного флота. В свое время именно для контейнерных перевозок были спроектированы и построены специализированные суда-катамараны проекта Р-19. Они имели класс Регистра «О» и возможность судоходства по рекам и водохранилищам со скоростью до 27,5 км/ч. Но не менее важным было то, что это были суда-площадки, позволявшие быстро осуществлять погрузку и выгрузку контейнеров.

Очевидно, что без нового флота организация возобновления речных перевозок грузов в контейнерах невозможна. Но такую возможность имеют лишь крупные и реже средние по составу флота судоходные компании. Небольшие судоходные компании не имеют возможности обновить свой флот, поскольку стоимость современных судов достигает порядка \$ 10–12 млн.

На сегодняшний день на транспортном рынке речных перевозок с разной степенью эффективности функционирует значительное количество небольших судоходных компаний. Достаточно сказать, что в Государственном судовом реестре по Волжскому бассейну зарегистрировано более 4000 единиц флота и более 1600 организаций различных форм собственности. Однако при усилении конкуренции успеха чаще всего добиваются крупные компании. Процесс укрупнения судоходных компаний начался, о чем свидетельствует объединение Северо-Западного и Волжского пароходств в рамках холдинга. Остается надеяться, что новая судоходная компания обратится к речным контейнерным перевозкам, но для этого, как было сказано выше, необходимо строительство новых специализированных судов, способных перевозить контейнеры большой грузоподъемности. О том, что качество перевозок зависит от эволюции флота, говорит отечественный и зарубежный опыт [15].

Стратегией развития внутреннего водного транспорта были предусмотрены последовательные шаги по восстановлению потенциала использования внутренних водных путей европейской части России, в том числе – создание объективных условий, стимулирующих переключение контейнеропотоков с автомобильного и железнодорожного

¹ http://волгаводпуть.рф/news/obraschenie_fbu_administratsiya_voljskogo_basseyna_k_sudovladelsam_i_sudovoditelyam

видов транспорта, в первую очередь там, где транспортные пути перегружены. Однако за годы экономических реформ большая часть речных портов практически полностью утратила необходимую инфраструктуру для обслуживания контейнерных линий.

Важнейшим направлением развития портовой инфраструктуры в настоящее время является внедрение цифровых технологий как при организации погрузо-разгрузочных работ и обслуживании складских площадей, так и документооборота [11, 16]. Один из способов повысить общую производительность контейнерного терминала и, как результат, уменьшить время оборота судна – это повышение автоматизации обработки грузов на основе математического и информационного обеспечения эффективной обработки контейнеров. Преимущества в области электроники, автоматизации и информационных технологий позволяют разрабатывать полностью автоматизированные контейнерные терминалы.

Создание тримодальных логистических центров в крупных речных портах является крайне необходимым условием для продвижения в глубь страны экспортно-импортных грузов с участием речного флота. Вместе с тем, не следует забывать и опыт ряда городов СССР, а также зарубежный опыт [17], когда для приема и отправления контейнеров по реке в черте города создавали небольшие по размеру контейнерные площадки, оборудованные несколькими кранами. Плюсами таких площадок при небольших объемах среднесуточного прибытия и отправления контейнеров была удобная транспортная доступность.

В ряде провинций Китая считают, что судоходным компаниям целесообразно взять на себя инвестиции в строительство речных контейнерных терминалов, поскольку в этом случае они могут организовать работу контейнерных линий с обслуживанием не только конечных, но и всех крупных и малых промежуточных пунктов [17].

Выше упоминались периоды развития нашей страны, когда для перевозки грузов в контейнерах включались в единую транспортную цепочку все виды транспорта и в первую очередь – железнодорожный и водный. В качестве одной из причин отсутствия массового применения технологии смешанных железнодорожно-водных контейнерных перевозок можно назвать существующие в настоящее время противоречия между целями владельцев транспортных средств и действующими в области смешанных (комбинированных) перевозок законодательными актами. Так Приложение 14 «Временное соглашение о порядке перевозки грузов в универсальных контейнерах Министерства путей сообщения и Министерства речного флота РСФСР в прямом смешанном железнодорожно-водном сообщении», входящее в состав «Правил перевозок грузов в прямом смешанном железнодорожно-водном сообщении (утв. МПС СССР, Минморфлотом СССР, Минречфлотом РСФСР 17/24.04.1956) (сизм. от 30.11.2000)» не в состоянии урегулировать все взаимоотношения сторон различных форм собственности.

Наиболее привлекательным вариантом выхода из создавшейся ситуации является заключение узловых соглашений между портами и железнодорожными станциями на основе «Кодекса внутреннего водного транспорта» (Кодекс ВВТ) и «Устава железнодорожного транспорта Российской Федерации» (Устав железнодорожного транспорта). В ст. 108, п. 1 Кодекса ВВТ и в ст. 70 Устава железнодорожного транспорта указано: «Порядок предоставления контейнеров и условия их использования для перевозок грузов в прямом смешанном сообщении устанавливаются соглашениями между организациями транспорта соответствующих видов» [18–19].

Сложившаяся разобщенность работы указанных выше видов транспорта вредит не только портам и судоходным компаниям, но и в определенной степени самим железнодорожникам при организации международных перевозок. Клиенты логистических компаний при необходимости выполнения смешанных перевозок вынуждены обращаться не в одну, а сразу в несколько транспортных организаций, каждая из которых может работать в своем, отличном от других, режиме. Таким образом тормозится развитие международных интермодальных перевозок с участием отечественного транспорта.

Весьма интересно, что в последнее время железнодорожники «бьют тревогу» из-за неправильного, как они считают, поведения автомобильного транспорта именно в части контейнерных перевозок [20]. Автомобильный транспорт, представленный рынком транспортных услуг более чем на 90% небольшими автомобильными компаниями, все больше перехватывает у железной дороги перевозку грузов в контейнерах. При этом у автомобилистов два несомненных преимущества: время доставки и возможность доставки груза «от двери к двери». Поэтому ОАО «Российские железные дороги» и их основной представитель на рынке контейнерных перевозок ПАО «Трансконтейнер» вышли с законодательной инициативой по ограничению движения грузовых автомобилей большой грузоподъемности по дорогам страны (по примеру ряда стран). Очевидно, что и речникам имеет смысл обдумать свою позицию и также сформулировать предложения по изменению законодательства в части предоставления определенных преимуществ водному транспорту. Здесь необходимо решение федерального центра о перевозках, осуществляемых параллельно внутренним водным путям.

Законодательные пробелы и отсутствие желания «старшего брата», в роли которого выступает ОАО «Российские железные дороги» (РЖД), препятствуют как в целом процессу организации перевозок грузов в контейнерах в прямом железнодорожно-водном сообщении, так и решению ряда технологических вопросов, возникающих в момент передачи контейнеров с одного вида транспорта на другой: компенсация ущерба при нарушении сохранности грузов, повреждение подвижного состава, оформление перевозочных документов, взаиморасчеты и т. п.

Но, пожалуй, наиболее важной здесь выглядит проблема возврата порожних контейнеров. На эту проблему обращают внимание все крупные контейнерные компании [21–24]. Стоимость перевозки порожнего контейнера практически эквивалентна затратам на перевозку груженого контейнера, однако перемещение порожнего контейнера не приводит к получению прямой прибыли. Вместе с тем возврат порожних контейнеров в точки зарождения контейнерных потоков важен для контейнерных перевозок в целом, поскольку в противном случае возникает необходимость сооружения новых контейнеров со всеми вытекающими из этого последствиями. Предложений по стимулированию возврата порожних контейнеров к настоящему времени накопилось достаточно много, но, как показывает практика, какого-то единого подхода до сих пор не выработано.

Включение водного транспорта в систему контейнерного сообщения принесло бы огромные экономические выгоды по сравнению с существующей схемой контейнерных перевозок. При оценке такого рода последствий зарубежные авторы в первую очередь обращают внимание на экологический эффект [12,25].

На вопросы экологии в настоящее время обращают все большее внимание. Все больше в обществе завоевывает популярность такое понятие, как «низкоуглеродная экономика» (Low-carbon economy, LCE) [26]. LCE – это концепция устойчивого развития экономики как в целом, так и отдельных стран, нацеленная на предотвращение катастрофических последствий глобального изменения климата в нынешнем столетии. В частности, в «Белой книге по энергетике Великобритании» (2003 г.) LCE определяется как рост экономики при меньшем потреблении природных ресурсов и сокращении загрязнения природы. В КНР в 2009 году была разработана «Дорожная карта китайских энергетических технологий до 2050 года», согласно которой LCE – это модель экономики, основанная на низком энергопотреблении природного топлива, низком загрязнении, низком уровне выбросов. Финансово-исследовательская группа Министерства охраны окружающей среды и Институт планирования предложили введение в Китае углеродного налога, который в 2020 году мог бы составить в пределах 40–50 юаней за тонну выбросов загрязняющих веществ. По мнению разработчиков дорожной карты, если будет взиматься налог на выбросы углерода, то будут развиваться в первую очередь железнодорожно-водные и прямые водные перевозки [25].

В России в 2020 году Министерством экономического развития разработан проект «Стратегии долгосрочного развития РФ до 2050 года с низким уровнем выбросом парниковых газов» (распоряжение Правительства № 2344-р от 03.11.2016). Она направлена на развитие экономики при условии низкого уровня выбросов парниковых газов. Одной из задач Стратегии является масштабное изменение структуры грузо- и пассажирооборота в пользу менее углеродоемких видов транспорта. Поскольку водный транспорт относится к наиболее экологичным видам транспорта (на долю автомобильного транспорта приходится 75% транспортных выбросов CO₂, в то время как совокупная доля железнодорожного и водного транспорта составляет 12,5%, авиации – 12,5% [27]), то очевидным является решение его развития и выбора в качестве одного из основных видов транспорта для осуществления перевозок грузов в контейнерах.

С учетом вышесказанного, необходимо изменение подхода к оценке эффективности транспортных проектов в целом и проектов с использованием водного транспорта в частности. Наиболее важные факторы, влияющие на инвестиционный процесс в речной транспорт, выявленные Европейской экономической комиссией ООН в 1996 г. и Европейской комиссией в 2011, определены как: цель инвестиций, пространственное планирование, воздействие на окружающую среду, технологии водного строительства, пользователи и другие бенефициары, источники и схемы финансирования [12, 28]. При этом процесс обоснования воднотранспортных проектов основывается на понятиях полезности и стоимости. Суть теории полезности определяет концепцию максимизации полезности при принятии решения о покупке: потребитель пытается получить максимально возможную полезность от расходования меньшего количества денег. Цель клиента – максимизировать общую стоимость с учетом имеющегося (доступного) бюджета. Факторов полезности можно определить достаточно много, но авторы работы [29], говоря о контейнерных перевозках, упоминают экологическую эффективность, время транспортировки, доступность и вместимость контейнера.

Понятие «стоимости» не сводится исключительно к расходам проекта. Так, авторы работы [28] имеют в виду под стоимостью как показателя успеха проекта сочетание следующих факторов:

- высокая способность экономить затраты в проекте, благодаря навыкам к инновациям и оптимальной диверсификации проектных рисков;
- хорошая институциональная среда в стране, где планируется реализация транспортного проекта, что означает хорошую нормативно-правовую базу и поддержку на уровне правительства;
- высокая способность покрывать расходы проекта за счет доходов прямого и косвенного характера, полученных в результате его реализации;
- привлекательность схемы финансирования проекта с точки зрения эффективности использования транспортной инфраструктуры (распределительная эффективность) и приемлемость схемы финансирования для инвесторов;
- заключение прозрачных контрактов с подрядчиками и субподрядчиками с понятными обществу договорными соглашениями.

Заключение

Современное состояние транспортной сети страны и, в первую очередь, европейской ее части характеризуется ограниченной пропускной способностью автомобильных и железных дорог. В этих условиях весьма своевременной выглядит рекомендация по использованию потенциала пропускной способности внутренних водных путей и, прежде всего, Единой глубоководной системы европейской части Российской Федерации. Очевидно, что это могло бы существенно повлиять на снижение расходов, связанных с содержанием транспортной инфраструктуры страны и, как следствие, привести к уменьшению транспортной составляющей в цене товаров. Весомым обстоятельством в пользу более активного использования водного транспорта при организации

перевозок грузов в контейнерах является и улучшение экологии регионов европейской части страны.

Список литературы:

1. Голубчик А.М. Современное состояние российского экспорта транспортных и транспортно-экспедиторских услуг. // Российский внешнеэкономический вестник. – 2018. №1 – с. 46–55.
2. Грузовые перевозки в России: обзор текущей статистики/ Аналитический центр при правительстве Российской Федерации. – сентябрь – 2019. – с. 24.
3. Обзор морского транспорта 2018 год. Издание Организации Объединенных Наций, ЮНКТАД – 2018. – С. 108.
4. Транспорт в России. 2018: Стат. сб./ Росстат. – М., 2018. – 101 с.
5. Economic Analysis of the European Port System. [Электронный ресурс] URL: <http://www.espo.be/downloads/archive/39de07a-3b9f47df9717-abf9694de7a6.pdf>
6. FESCO — транспортная группа. Сайт. [Электронный ресурс]. <https://www.fesco.ru/>
7. Мачея Миндура. Транспорт в товарообмене между Европой и Азией / Варшава – Радом – 2011. – с. 282.
8. Перспективы развития международного транспортного коридора «Север-Юг»/ август – 2019. [Электронный ресурс] URL: www.EURASIAN-STRATEGIES.RU
9. Минеев В.И., Веселов Г.В., Корченкова Е.И., Шишкина М.А. Эффективность контейнеризации мелкопартионных перевозок в коридоре Север-Юг-Север: опыт, проблемы, эффективность. // Вестник ВГАВТ. – 2016. – Вып. 48.- с. 169–172.
10. Годовой отчет 2018 // Официальный сайт ПАО «Трансконтейнер»: [сайт]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. [Электронный ресурс] URL: https://trcont.com/documents/20143/681624/190822TrCont_AR2018_RUS_spreads.pdf/483c31b7-4b8-688b-ebce-c3306244a88
11. Nyrkov A. Some Methods of Increasing the Efficiency of River Transport System/ A. Nyrkov, A. Shnurenko, S. Sokolov, S. Chernyi, V. Korotkov //Procedia Engineering. Volume 178.-2017.-p. 543–550.
12. Wiśnicki B. Determinants of River Ports Development Into Logistics Trimodal Nodes, Illustrated by the Ports of the Lower Vistula River/ B. Wiśnicki//Transportation Research Procedia. Volume 16. – 2016.-p. 576–586.
13. Armstrong, J. Capacity utilization and performance at railway stations / J. Armstrong, J. Preston// Journal of Rail Transport Planning & Management, Volume 7(3).- 2017.-p. 187–205.
14. Giusti, R. Synchronodal logistics: An overview of critical success factors, enabling technologies, and open research issues/ R. Giusti, D. Manerba, G. Bruno, R. Tadei//Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. Volume 129.-September 2019.-p. 92–110.
15. Puscaciu V. World Fleet and the Price of the Ships/ V. Puscaciu, M. Mihalache, F.D. Puscaciu // Procedia – Social and Behavioral Sciences. Volume 1912.- June 2015.-p. 2873–2878.
16. Pješčević, D. Application of DEA to the analysis of AGV fleet operations in a port container terminal/ D. Pješčević, I. Vladislavljević, K. Vukadinović, D. Teodorović //Procedia – Social and Behavioral Sciences. Volume 20. -2011.-p. 816–825.
17. Ding Z.Y. The Relative Efficiency of Container Terminals in Small and Medium-Sized Ports in China/ Z.Y. Ding, G.S. Jo, Y. Wang, G.T. Yeo//The Asian Journal of Shipping and Logistics. Volume 31, Issue 2.-June 2015. – p. 231–251.
18. Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации от 07.03.2001 N 24-ФЗ (ред. от 02.08.2019) [Электронный ресурс]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_30650/
19. Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации. Федеральный закон от 10.01.2003 N 18-ФЗ (ред. от 02.08.2019) [Электронный ресурс]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40444/
20. Скорченко, М.Ю. Состояние и перспективы контейнерных перевозок в Российской Федерации // ИВД. 2017. №4 (47). [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyani-i-perspektivy-kontreylemyh-perevozok-v-rossiyskoy-federatsii>
21. Gusah, L. A systems analysis of empty container logistics – a case study of Melbourne, Australia/ L. Gusah, R. Cameron-Rogers, R.G. Thompson//Transportation Research Procedia. Volume 39.-2019.-p. 92–103.
22. Fan, X. Returnable containers management in a single-vendor multi-buyer supply chain with investment in reducing the loss fraction/ X.Fan, X.Xu, B.Zou, Q.Bai//Measurement. Volume 143.- September 2019. – p.93–102.

23. Cobb, B.R. Inventory control for returnable transport items in a closed-loop supply chain/ B. R. Cobb //Transp. Res. Part E: Logist. Transp. Rev. 86.- 2016.-p. 53–68.
24. Kroon, L. Returnable containers: an example of reverse logistics/ L. Kroon, G. Vrijens// Int.J. Phys. Distrib. Logist. Manage. Volume 25 (2). -1996.- p.56–68.
25. Jiang, B. Container Ports Multimodal Transport in China from the View of Low Carbon/B.Jiang, J.Li, X.Mao//The Asian Journal of Shipping and Logistics. Volume 28, Issue 3. -December 2012.-p. 321–343.
26. Грищевич, И.Г. Перспективы и сценарии низкоуглеродного развития: ЕС, Китай и США в глобальном контексте. /И.Г.Григоревич.-М.: Скорость цвета, 2011. – 36 с.
27. Stern, N. The Economics of Climate Change: the Stern review /Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. [Electronic resource]: <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511817434>.
28. Moschouli, E. Factors affecting the cost performance of transport infrastructure projects/ E.Moschouli, R.M.Socipto, T.Vanelander, K.Verhoest// European Journal of Transport and Infrastructure Research (EJTIR). Issue 18(4). - 2018. – p. 535–554.
29. Madudova, E. Identifying the derived utility function of transport services: case study of rail and sea container transport/ E.Madudova, A.Dávid// Transportation Research Procedia. Volume 40.-2019. – p.1096–1102.

ASSESSMENT OF CONDITION AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF CONTAINER TRANSPORTATION BY INLAND WATER TRANSPORT

Valery I. Mineev

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Valery M. Ivanov

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Mikhail V. Ivanov

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article provides an analysis of the development of the container transport market at the international and domestic levels. It is noted that despite the absolute growth in the volume of container traffic in recent years its growth rate has been decreasing since 2005. An increase in traffic was noted in the main directions, including the Europe – Asia – Europe direction, the trans-Pacific and trans-Atlantic directions. The largest increase in container traffic over the period under review occurred in the Europe - Asia direction. In the Russian container shipping market, rail transportation is showing steady growth dynamics. Container shipping by water in 2017 amounted to only 4% of the total container shipping in Russia. Inland water transport amounted to 0.5%, which indicates their practical termination. Possible routes and the main factors restraining the development of container transportation by inland water transport are considered. The main problems that hinder the development of container traffic in general and in water transport in particular are identified. Possible solutions to the identified problems of the development of cargo transportation in containers with emphasis on the primary use of inland water transport are proposed.

Key words: container transportation, export, import, domestic transportation, transport corridors, river transport, ecology, fleet, port infrastructure.

References:

1. Golubchik A.M. The current state of the Russian export of transport and forwarding services. // Russian Foreign Economic Bulletin. – 2018. No. 1 – p. 46–55.
2. Cargo Transportation in Russia: A Review of Current Statistics / Analytical Center for the Government of the Russian Federation. – September 2019.- p. 24.
3. Review of maritime transport 2018. United Nations publication, UNCTAD – 2018. – P.108
4. Transport in Russia. 2018: Stat. Sat / Rosstat. – M., 2018.- 101 p.
5. Economic Analysis of the European Port System. [Electronic resource] URL: <http://www.espo.be/downloads/archive/39de07a-3b9f47d9717-abf9694de7a6.pdf>

6. FESCO – transport group. Website. [Electronic resource]. <https://www.fesco.ru/>
7. Maciej Mindur. Transport in the exchange of goods between Europe and Asia / Warsaw – Radom – 2011. - p. 282.
8. Prospects for the development of the North-South international transport corridor / August – 2019. [Electronic resource] URL: www.EURASIAN-STRATEGIES.RU
9. Mineev V.I., Veselov G.V., Korchenkova E.I., Shishkina M.A. Efficiency of containerization of small-lot transportation in the North-South-North corridor: experience, problems, efficiency. // Bulletin VGAVT. – 2016. – Issue. 48. - p. 169-172.
10. Annual report 2018 // Official website of PJSC Transcontainer: [site]. System. Requirements: Adobe Acrobat Reader. [Electronic resource] URL: https://trcont.com/documents/20143/681624/190822TrCont_AR2018_RUS_spreads.pdf/483c31b7-4b38-688b-ebce-c3306248a88
11. Nyrkov, A. Some Methods of Increasing the Efficiency of River Transport System / A.Nyrkov, A. Shurenko, S. Sokolov, S. Chernyi, V. Korotkov // Procedia Engineering. Volume 178.-2017.-p. 543-550.
12. Wiśnicki, B. Determinants of River Ports Development Into Logistics Trimodal Nodes, Illustrated by the Ports of the Lower Vistula River / B. Wiśnicki // Transportation Research Procedia. Volume 16. -2016. -p. 576-586.
13. Armstrong, J. Capacity utilization and performance at railway stations / J. Armstrong, J. Preston // Journal of Rail Transport Planning & Management, Volume 7 (3) .- 2017.-p. 187-205.
14. Giusti, R. Synchromodal logistics: An overview of critical success factors, enabling technologies, and open research issues / R. Giusti, D. Manerba, G. Bruno, R. Tadei // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. Volume 129. -September 2019. -p. 92-110.
15. Puscaciu, V. World Fleet and the Price of the Ships / V. Puscaciu, M. Mihalache, F. D. Puscaciu // Procedia – Social and Behavioral Sciences. Volume 1912. - June 2015. -p. 2873-2878.
16. Pječević, D. Application of DEA to the analysis of AGV fleet operations in a port container terminal / D.Pječević, I.Vladislavljević, K.Vukadinović, D. Teodorović // Procedia – Social and Behavioral Sciences. Volume 20. -2011. -p.816-825.
17. Ding, Z.Y. The Relative Efficiency of Container Terminals in Small and Medium-Sized Ports in China / Z.Y. Ding, G.S. Jo, Y. Wang, G.T. Yeo // The Asian Journal of Shipping and Logistics. Volume 31, Issue 2. -June 2015. -p.231-251.
18. Code of the Inland Water Transport of the Russian Federation dated 07.03.2001 N 24-ФЗ (as amended on 02.08.2019) [Electronic resource]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_30650/
19. Charter of railway transport of the Russian Federation. Federal Law dated 10.01.2003 N 18-ФЗ (as amended on 08/02/2019) [Electronic resource]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40444/
20. Skorchenko, M.Yu. The state and prospects of piggyback transportation in the Russian Federation // IVD. 2017. No4 (47). [Electronic resource] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-perspektivy-konteynernyh-transportov-v-rossijskoj-federatsii>
21. Gusah, L. A systems analysis of empty container logistics – a case study of Melbourne, Australia / L. Gusah, R. Cameron-Rogers, R. G. Thompson // Transportation Research Procedia. Volume 39. -2019.- p. 92-103.
22. Fan, X. Returnable containers management in a single-vendor multi-buyer supply chain with investment in reducing the loss fraction / X. Fan, X. Xu, B. Zou, Q. Bai // Measurement. Volume 143. - September 2019. -p. 93-102.
23. Cobb, B.R. Inventory control for returnable transport items in a closed-loop supply chain / B.R. Cobb // Transp. Res. Part E: Logist. Transp. Rev. 86.- 2016.-p. 53–68.
24. Kroon, L. Returnable containers: an example of reverse logistics / L. Kroon, G. Vrijens // Int.J. Phys. Distrib. Logist. Manage. Volume 25 (2). -1996.- p. 56–68.
25. Jiang, B. Container Ports Multimodal Transport in China from the View of Low Carbon / B. Jiang, J. Li, X. Mao // The Asian Journal of Shipping and Logistics. Volume 28, Issue 3. -December 2012.-p. 321-343.
26. Gritsevich, I.G. Prospects and scenarios of low-carbon development: EU, China and the USA in a global context. / I.G. Grigorovich.- M.: Color Speed, 2011. - 36 p.
27. Stern, N. The Economics of Climate Change: the Stern review / Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. [Electronic resource]: <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511817434>.
28. Moschouli, E. Factors affecting the cost performance of transport infrastructure projects / E. Moschouli, R. M. Soecipto, T. Vanelander, K. Verhoest // European Journal of Transport and Infrastructure Research (EJTIR). Issue 18 (4) .- 2018.- p. 535-554.

29. Madudova, E. Identifying the derived utility function of transport services: case study of rail and sea container transport / E. Madudova, A. David // Transportation Research Procedia. Volume 40.-2019.- p.1096–1102.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Минеев Валерий Иванович, д.э.н., профессор, советник при ректорате, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5,
e-mail: mineev.vi@vsuwt.ru

Иванов Валерий Михайлович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой экономики и менеджмента, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: i52nn@mail.ru

Иванов Михаил Валерьевич, к.э.н., доцент, доцент кафедры экономики и менеджмента, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: ivanov@vsawt.com

Valery I. Mineev, Doctor of Economics, Professor, Counselor at the university administration, Volga State University of Water Transport,
5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Valery M. Ivanov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Department of Economics and management, Volga State University of Water Transport,
5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Mikhail V. Ivanov, Ph.D. in Economic Science, Associate Professor of the Department of Economics and management, Volga State University of Water Transport,
5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 11.05.2020 г.

ВЛИЯНИЕ СУБЪЕКТИВНЫХ ФАКТОРОВ НА ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА РЕЧНОМ ТРАНСПОРТЕ

Ю.И. Платов

Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Актуальность статьи подтверждается необходимостью повышения уровня разработки, внедрения и использования информационных технологий в сфере управления работой флота. В статье обосновано, что основные сложности с внедрением диктуются не объективными условиями, а находятся в области субъективного отношения лиц, влияющих на развитие управленческих ИТ. Показана роль руководителей и влияние организационных решений на успех разработки и внедрения ИТ, как в прошлом, так и в настоящее время, что проиллюстрировано в историческом аспекте на примере пароходства «Волготанкер», где соблюдались принципы информатизации и оказывали сильное влияние субъективные факторы. Отмечается невостребованность аналитических ИТ на современном этапе, несмотря на превосходство отечественного задела и высокую эффективность моделирования движения судов и нормирования ходового времени и расхода топлива судами. Сформулированы основные направления повышения эффективности ИТ на речном транспорте в условиях цифровизации экономики.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления, цифровизация, информатизация, сбор и обработка информации, информационные технологии, оптимизация планирования работы флота, имитационное моделирование транспортных операций, субъективные факторы

Введение

В XXI веке, в отличие от второй половины XX века, необходимость создания и использования информационных технологий (ИТ) является неизбежной, так как ИТ оказывают воздействие на все сферы экономики, в том числе и на повышение конкурентности и эффективности водного транспорта как в нашей стране, так и за рубежом [1]. Несмотря на существенное различие эпох по многим параметрам, процесс информатизации в рамках различных автоматизированных систем управления (АСУ) имеет общую проблему [2,3]. Она заключается в разрыве между операционными возможностями «АСУ» и мышлением руководителей, которое непосредственно воплощалось в их действиях и действиях их аппарата [3]. Разрешение этой проблемы находится на начальной стадии даже на современном этапе развития ИТ, который принято называть сегодня цифровизацией [4–6].

В этом плане отрасль речного транспорта не является исключением, и поэтому анализ опыта и уроков информатизации является актуальным для цифровизации в отрасли в контексте обозначенной проблемы. Автор настоящей статьи был непосредственным участником создания АСУ на речном транспорте и на основе собственного богатого опыта пытается раскрыть часть этой проблемы, показать пути ее решения на конкретных примерах создания АСУ в пароходстве «Волготанкер». При этом акцент будет сделан не на отрицательные факторы, а на положительное влияние субъективных факторов в части принимаемых организационных решений, влияющих на успешное внедрение и использование ИТ.

Развитие АСУ в стране в отрасли речного транспорта и проблемы с их внедрением

Историю, опыт и итоги создания АСУ необходимо рассматривать в контексте всей страны и отрасли. Системно автоматизация управления речным транспортом начинается в 70-е годы после того, как усилиями ряда учёных и, в первую очередь, Глушкова В.М., идея интеграции управления на основе вычислительной техники получила государственное признание. Как известно, с 1972 г. и примерно до середины 80-х годов шла разработка АСУ речного транспорта (АСУРТ) [7]. Она состояла из трех иерархических уровней: ОАСУ «Речфлот», АСУ «Пароходство» и АСУ «Порт» и разрабатывалась под общим научным руководством д.т.н. Савина В.И., который был в числе первых исследователей-энтузиастов разработки этой проблемы в отрасли.

Несмотря на масштабность работ и вложенные средства, примеры успешного применения в целом в стране и в различных отраслях не были массовыми, а, скорее, единичными и цели, поставленные при проектировании, не были достигнуты полностью.

В крупных пароходствах были сданы в эксплуатацию, в основном, существовавшие типичные задачи статистического и оперативного учета и потому функционировало несколько параллельных потоков информации по работе флота, а также и некоторые другие, не объединенные общей системой. Такое положение было общим для всех отраслей экономики вследствие взаимодействия объективных и субъективных причин. Для речного транспорта эти причины подробно освещались в публикациях того времени [8–13]. Анализ разработки и внедрения ИТ в пароходстве «Волготанкер» с современных позиций и с учетом последних достижений дан в работе [14]. В ходе анализа было установлено, что некоторые полученные в ходе выполнения этого проекта конкретные результаты в сферах информационного, алгоритмического и математического обеспечения использовались длительный период, в том числе уже и в «новейшее» время. В этом анализе отмечено, что неуспех разработки и внедрения АСУРТ не является чем-то необычным и присущ как зарубежному водному транспорту [15–18], так и другим отраслям [19]. Но этот анализ указывает преимущественно на негативные причины и факторы и не отражает положительные факторы субъективного характера, связанные с мышлением руководителей разных уровней, которые оказали решающее влияние на внедрение и эффективное использование АСУ в пароходстве «Волготанкер» (АСУВТ).

Основные направления разработок АСУ

При разработке АСУРТ и АСУВТ главными направлениями при информатизации были следующие, наиболее важные: а) оптимальное навигационное планирование работы флота [20]; б) сбор и передача оперативных данных о работе самоходных и несамоходных судов в ВЦ для контроля, оперативного учета и анализа работы флота.

Эти направления оказались труднореализуемыми в тех условиях и полностью были воплощены только в пароходстве «Волготанкер», где эксплуатировались подсистемы «Расчет графика движения флота» и «Оперативный учет и анализ работы флота», для функционирования которых была решена важная проблема сбора информации о работе судов. Обе подсистемы были приняты в промышленную эксплуатацию государственной комиссией в 1975 г. [8]. Состав задач подсистем постоянно расширялся и в 1985 г. были приняты уже 4 подсистемы в составе 26 задач, которые функционировали до 1998 г., а впоследствии стали заменяться более удобным АРМ на персональных ЭВМ с использованием предыдущих разработок [15]. В начале перестройки все системные разработки АСУ для пароходства «Волготанкер» прекратились.

Влияние организационных решений на результаты внедрения задач

Такой результат в советский период стал возможным вследствие ряда исключительных организационных решений, принятых в процессе создания АСУВТ. Эти решения были продиктованы уровнем развития вычислительной техники в стране, средств

передачи данных, опытом по сбору, структуризации, унификации и обработке информации как за рубежом [21], так и о работе судов в пароходстве на счетно-перфорационных машинах с использованием телеграфных каналов связи [22]. Ключевые решения, выходящие за рамки обычных бюрократических и определившие успех создания АСУВТ, были приняты начальником планово-экономического управления (ПЭУ) МРФ РСФСР, ответственным за функционирование АСУ «Речфлот» Зарубиным Д.М. [23], первым заместителем министра МРФ РСФСР, руководителем научно-технической группы по разработке АСУ «Речфлот» Назаровым М.С. [24] и начальником пароходства «Волготанкер» Блохиным Н.К. [23]. Важным фактором стала также последовательная политика Вычислительного центра пароходства «Волготанкер» (ВЦ ВТ), направленная на соблюдение принципов информатизации, сформированных Глушковым В.М. [2]: постановки новых задач, создания единой интегральной информационной базы, разового ввода информации и некоторых других.

На этих важных решениях необходимо остановиться более подробно. Во-первых, решение Зарубина Д.М. [23] об установке в ВЦ ВТ ЭВМ «Минск-32» вместо «Урал-14Д», которое шло в разрез с общей предлагаемой технической политикой [25]. Такое решение, как показало время, было оправданным и позволило сэкономить время разработки задач, избежать капложений в последующую замену «Урал-14Д», повысить возможности и производительность обработки информации.

Во-вторых, ВЦ ВТ отказалось принять технологию, предлагаемую ЛИВТом в соответствии с планом НИР МРФ РСФСР. Эта технология предполагала осуществлять съем оперативной информации о работе судов в главных диспетчерских пароходства. Такая позиция ВЦ ВТ была продиктована, исходя из имеющегося опыта пароходства по съему данных в главных и линейных диспетчерских по несамостоятельным судам с последующей передачей их по телеграфу в ВЦ [22]. У пароходства также имелся опыт передачи данных с судов по радиосвязи об оперативных расходах. Поэтому в тех условиях ВЦ ВТ был предложен промежуточный вариант сбора и передачи информации с районных управлений пароходства (РУ), выступающих в данном варианте в качестве информационных пунктов (ИП). В ИП концентрировались данные, поступающие по разным каналам, которые затем с помощью телетайпа передавались в ВЦ пароходства. Этот вариант обсуждался на заседании научно-технической группы по разработке АСУ «Речфлот», возглавляемой Назаровым М.С. [24], и был принят вариант ВТ. Более того, было подтверждено право ВЦ ВТ на проведение самостоятельной политики в области АСУВТ, которое впоследствии повлияло на успех создания и эффективного использования АСУВТ. При разработке проекта сбора и передачи оперативных данных о работе судов и составов в технологию обработки информации было внесено два новшества, которые обеспечили существенное снижение трудоемкости и повышение достоверности данных [26]. Первое было связано с тем, что вместо цифровых кодов стали использовать буквенно-цифровые коды пунктов, судов и транспортных операций, применяемые на практике, то есть был подключен диспетчерский «язык» (такое стало возможным на ЭВМ «Минск-32»). Второе новшество заключалось в имитационном моделировании транспортных операций на основе последней достоверной дислокации судов и формирования прогноза работы судов, который сверялся с новой порцией сообщений, выявлялось совпадение или расхождение информации по каждому конкретному судну или составу. В последнем случае, в зависимости от характера ошибки, данные либо корректировались, либо формировались сообщения об ошибках для последующей корректировки [26].

Однако успешное внедрение этой технологии и в целом подсистемы «Оперативный учет и анализ работы флота» стало возможным благодаря нестандартному решению начальника пароходства Блохина Н.К. [23], принятому на основе предложения ВЦ ВТ, связанного с запретом любых дублирующих способов сбора оперативной информации по работе флота в пароходстве и использованием только выходных данных ВЦ ВТ. Такое решение внесло принципиальное изменение в процесс управления пароходством,

что обеспечило реальное, а не «бумажное» встраивание АСУ в контур управления и, собственно, подтвердило эффективность принципов информатизации, сформулированных академиком Глушковым В.М. [2]. Это же решение обеспечило преодоление в короткие сроки неизбежной «болезни роста» [19], когда были задействованы прямые и обратные связи, позволило повысить персональную ответственность всех участников этого проекта. В результате, когда функционирование этой подсистемы достигло приемлемого уровня, то есть стало удовлетворять информационным потребностям пользователей, начался закономерный процесс формирования новых потребностей, а число задач и выходных форм впоследствии достигало нескольких десятков. К тому же, на этой единой информационной базе впервые в МРФ РСФСР был объединен статистический и оперативный учет работы флота [27], было введено автоматизированное нормирование ходовых и стояночных операций [28]. Такие дополнения практически сразу свели к нулю трудоемкость статистического учета и нормирования, резко сократили сроки формирования статистической отчетности и при этом повысили её достоверность и уровень нормирования работы флота.

Возможно, подсистема была бы внедрена и без этих названных неординарных организационных решений, принятых на уровне МРФ РСФСР и пароходства, но позднее и функционировала бы, как и в других пароходствах, не меняя при этом методы и процессы управления и являясь чем-то вроде приложения к существующей системе управления [29].

Проблемы оптимизации навигационного планирования

На разработку и внедрение задач оптимизации навигационного планирования в ВТ также оказывали влияние (хотя и меньшее) как положительные, так и отрицательные субъективных факторы. По плану НИР МРФ, проектирование подсистемы «Расчет графика движения флота» было возложено на ГИИВТ, так как первые разработки в этом направлении, как отмечалось выше [7, 12], были сделаны под руководством Савина В.И. Главные усилия были сосредоточены на решении этих задач для пароходств Центрального и Северо-Западных бассейнов (ЦЗБ) и параллельно – для ВТ, вначале – отдельной группой сотрудников кафедры организации движения (ОД), впоследствии – кафедры автоматизированных систем управления на речном транспорте, а позже – ВЦ ПЦБ при ГИИВТЕ (как проектной организации). При этом научное руководство осуществлялось кафедрами. Оптимизация расстановки судов по участкам работы реализовывалась на типичной линейной модели распределения ресурсов, предложенной ранее Савиным В.И. [39, 31]. Однако при реализации модели для пароходств ЦЗБ возникла проблема ограниченных возможностей оперативной памяти тогдашних ЭВМ. Для её разрешения перешли к технологии локальной оптимизации. Упрощенно технология реализовывалась следующим образом. Предварительно рассчитывались все возможные варианты участков работы судов, формируя, таким образом, базовую схему [32], которая включала в себя показатели работы флота для возможных сочетаний расстановки судов по грузопотокам. Затем, с учетом корреспонденции перевозок грузов и ресурсов флота, последовательно, по выбранному критерию, из базы выбирались и назначались условно «лучшие» суда на «лучшие» участки работы. В случае избытков флота этого типа для освоения «лучшего» грузопотока, его остатки использовались на других, менее «лучших» грузопотоках. В случае же, когда грузопоток не осваивался полностью, то использовался менее «лучший» тип судна. Эти процедуры продолжались либо до полного освоения объёмов перевозок, либо до исчерпания ресурсов флота. В итоге, позднее, в 1983 г., для пароходств ЦЗБ был разработан и принят только диалоговый вариант навигационного планирования [20].

Такой проблемы, как ограниченность оперативной памяти ЭВМ, в ВТ не существовало. Несмотря на это, кафедрой ОД в одностороннем порядке было принято решение о внедрении технологии локальной оптимизации, как типовой, и в ВТ, игнорируя возражения ВЦ ВТ как представителя заказчика и соисполнителя. Опытные расчеты ВЦ

ВТ показали тупиковость этой методики. Действительно «лучшие» суда распределялись на «лучшие» участки работы, и в остатке были неосвоенные грузопотоки и «худшие» суда, которые не могли работать на этих грузопотоках. В такой технологии как в модели не было цели на освоение всех заданных грузопотоков, а также и ограничений, которыми можно было бы «регулировать» функционирование модели. Поэтому ВТ явочным порядком принял решение о реализации варианта стандартной математической модели [31, 32] и вместе с исполнителями ВЦ ПШБ довел его до стадии внедрения, устраняя в процессе опытной эксплуатации неизбежные недостатки [8]. Однако это был первый этап трудностей.

Второй возник вследствие категорического отказа от принятия этой подсистемы квалифицированными специалистами службы перевозок и движения флота (СПиДФ), которые при этом теоретически признавали оптимальность расстановки судов по участкам работы. Основания для этого были, они стали очевидными в процессе опытной эксплуатации по причине ряда взаимосвязанных факторов. Во-первых, модель была линейной и статичной, а транспортный процесс – нелинейным и динамическим. Во-вторых, результаты расстановки судов были идеальными, то есть, например, не учитывали неизбежную передислокацию судов в течение навигации с одного кругового рейса на другой и встречные порожние пробеги, возникающие в разные периоды в процессе регулирования. Естественно, модель не могла учесть и социальные факторы, к примеру, расстановку отдельных судов одного типа с привязкой их к базам приписки.

В результате неоднократных расчетов методом «проб и ошибок» специалистами ВЦ ВТ и СПиДФ была разработана технология расчетов, позволявшая получать требуемый навигационный план. Эта технология предусматривала серию расчетов с корректировкой на каждом этапе норм следования и стоянок (учет нелинейности), резервов ограничений (учет динамичности), ограничений и др. В конечном счете, подсистема, как отмечалось выше, была принята в промышленную эксплуатацию в составе первой очереди [8], была переведена на ЕС ЭВМ и просуществовала до распада советской экономической и политической системы. Эффективность этой подсистемы обеспечивалась повышением качества навигационного планирования работы флота.

Выводы и обсуждение

Все изложенное выше об опыте информатизации и анализ приведенных статей позволяют утверждать следующее.

1. Даже при состоянии развития ЭВМ и средств передачи данных периода второй половины XX века ИТ показывали свою эффективность, если при их создании соблюдались принципы информатизации. При этом воздействие субъективных факторов на создание ИТ имело решающий характер. Руководители того времени исходили из постановлений ЦК КПСС, Совета Министров СССР и планов отрасли в области совершенствования управления, то есть, информатизация была регулируемой со стороны государства и отрасли. После распада советской экономической и политической систем проблема автоматизации управления перестала рассматриваться на государственном уровне. Современные управленцы водного транспорта руководствуются максимизацией прибыли, а внедрение аналитических ИТ для них – это только затраты с неявным эффектом и неадекватной (с их точки зрения) экономической оценкой (в зарубежной практике затраты на ИТ являются инвестициями в будущую прибыль [33]). Для объективной оценки ИТ топ-менеджерам необходима интуиция стратегического характера, позволяющая определить полезность и перспективность той или иной ИТ, при этом у них отсутствуют государственные ориентиры, ранее формировавшиеся специальными научными и проектными организациями отрасли. Вследствие этого, разработки аналитических ИТ практически прекратились, за исключением разработки отдельных задач, которые были внедрены только в отдельных судоходных предприятиях также благодаря факторам субъективного характера.

2. В новейший период возможности информатизации резко возросли в связи с распространением персональных ЭВМ, созданием сети Интернет, новых средств связи, резким повышением производительности ЭВМ, что означает создание принципиально новой материальной и методической базы планирования и управления работой флота и особенно имитационного моделирования [34–38], которое имеет большую перспективу. Однако, по причинам, указанным выше, автоматизация деятельности на судоходных предприятиях не коснулась непосредственно задач управления работой флота [29]. В эксплуатации находятся лишь системы автоматизации бухгалтерии, системы электронного документооборота, судовые почтовые системы, различные справочные системы и другие, имеющие общий характер и не связанные со спецификой речного транспорта. К этому необходимо добавить, что такая информатизация мало влияет на эффективность управления, которую обеспечивают аналитические ИТ, ориентированные на учет специфики речного транспорта, и обеспечивающие, в том числе, нормирование ходового времени и расхода топлива судов и составов [8, 14, 39]. Эти разработки, как следует из анализа зарубежных исследований [40–43], показывают превосходство отечественного опыта моделирования движения судов для задач нормирования времени следования и расхода топлива, который, тем не менее, остаётся невостребованным в отечественных исследованиях и разработках.

3. Для изменения отрицательной динамики в направлении применения аналитических ИТ необходима разработка специальной государственной программы для речной отрасли, подчинённой задачам развития цифровой экономики страны в целом. Одной из задач такой программы должна стать разработка и обязательное внедрение универсальной отраслевой системы сбора информации с судов, удовлетворяющей по частоте, составу и структуре данных потребности как администраций внутренних водных путей, так и судоходных предприятий, и решение на базе такой системы задач непрерывного планирования и регулирования работы флота, учета и контроля, регулирования судопропуска через каналы и шлюзы. В рамках реализации программы обязательно должна быть создана специализированная организация по цифровизации отрасли.

Отдельные судоходные предприятия в принципе при всём желании такую проблему не решат, и аналитические ИТ не будут внедряться без соответствующей политики со стороны руководства отрасли и государства в целом.

Список литературы:

1. Barnhart C. Handbooks in Operations Research and Management Science: Transportation, Vol. 14 / C. Barnhart, G. Laporte (eds). Amsterdam: Elsevier, 2007. – 796 p.
2. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики М; Наука, 1982. – 552 с.
3. Никаноров С.П. Введение в концептуальное проектирование АСУ: анализ и синтез структур / С.П. Никаноров, Н.К. Никитина, А.Г. Теслинов. – М.: Концепт, 2007. – 236 с.
4. Negroponte N. Being Digital. New York: Knopf, 1995.
5. Matt C. Digital Transformation Strategies / C. Matt, T. Hess, A. Benlian. Business and Information Systems Engineering. 2015. Vol. 57. N. 5. Pp. 339–343.
6. de Reuver M., Sorensen C., Basole R.C. The digital platform: a Research agenda // Journal of Information Technology. 2018. Vol. 33. No. 2. Pp. 124–135.
7. Автоматизированная система управления водным транспортом / В.И. Савин, В.В. Неволин, В.Н. Захаров, А.А. Булов. – М.: Транспорт, 1985. – 238 с.
8. Мальшкин А.Г. Опыт разработки и внедрения АСУ паромходством «Волготанкер» / А.Г. Мальшкин, Ю.И. Платов // Передовой опыт и новая техника / ЦБНТИ. М., 1977. – Вып. 7 (43). С. 3–9.
9. Неволин В.В. Проблемы АСУ «Речфлот». Речной транспорт. – 1978. – № 1. – С. 25–26.
10. Платов Ю.И. Проблемы внедрения АСУ. Ж. «Речной транспорт», №9, 1979. С. 20–21.
11. Кока Н. Г. АСУ «Речфлот»: итоги и задачи / Н.Г. Кока Речной транспорт. – 1983. – № 1. – С. 22–24.
12. Савин В.И. Основные направления развития АСУ «Речфлот» / В.И. Савин // Речной транспорт. – 1986. – № 2. – С. 20–21.

13. Бутов А.С. Что мешает внедрению АСУ / А.С. Бутов // Речной транспорт. 1986. – № 11. – С. 28–29.
14. Платов А.Ю. Проблемы применения систем поддержки принятия решений на речном транспорте / А.Ю. Платов, Ю.И. Платов // Речной транспорт (XXI век). 2018. № 1 (85). – С. 22–24.
15. Mohammed Al-Yakoob, Salem. Mixed-integer mathematical programming optimization models and algorithms for an oil tanker routing and scheduling problem / Salem Mohammed Al-Yakoob. Dissertation for PhD in Math., Virginia Polytechnic Institute, Virginia, 1997.
16. Ronen D. Cargo Ships Routing and Scheduling: Survey of Models and Problems / D. Ronen // European Journal of Operational Research, 1983, No 12. Pp. 119–126.
17. Ronen D. Ship Scheduling: The Last Decade / D. Ronen // European Journal of Operational Research, 1993, No 71. Pp. 325–333.
18. Christiansen M. Maritime Transport Optimization: An Ocean of Opportunities / M. Christiansen, K. Fagerholt, G. Hasle, A. Minsas, B. Nygreen. OR/MS Today, April, 2009, Pp. 26–31.
19. Павлова О. Почему проваливаются ИТ-проекты: расчеты и реалии / О. Павлова // PC Week/RE, 2004. – №4. URL: http://www.it.ru/press_center/publications/8400/; <https://www.itweek.ru/management/article/detail.php?ID=160673>.
20. Пьяных С.М. Автоматизация расчета графика движения флота в пароходствах центрального и северо-западного бассейнов на ЕС ЭВМ / С.М. Пьяных, Н.В. Пигалова // Труды / ГИИВТ. – Горький, 1981. – Вып. 187. – С. 3–10.
21. Charles T. Meadow. The Analysis of Information Systems: John Wiley & Sons, Inc. New York-London-Sydney, 1967.
22. Платов Ю.И. Опыт оперативного учёта стояночного времени транспортного флота с использованием средств дистанционной передачи / Ю.И. Платов, Б.И. Дмитриев // Производственно-технический сборник ЦБНТИ МРФ РСФСР, №120, 1973. С. 21–28.
23. Энциклопедия речного транспорта: В 3 т. Т. 1: А-И: ОАО «Гипроречтранс» 2011. – 508 с.
24. Энциклопедия речного транспорта: В 4 т., Т. 2: К-М.: ОАО «Гипроречтранс» 2015. – 486 с.
25. Рыжов Л.М. Основы создания отраслевой автоматизированной системы управления речным транспортом АСУ «Речфлот» / Л.М. Рыжов, // Труды / ГИИВТ. – Горький, 1972. – Вып. 117, ч.2. – С. 3–19.
26. Платов Ю.И. Обеспечение достоверности данных в АСУ на речном транспорте. Передовой опыт и новая техника, сб. ЦБНТИ Минречфлота, 1979, вып.4 (64). – С. 7–29.
27. Дубровин И.М. Устранить двойной учёт работы флота / И.М. Дубровин, Ю.И. Платов // «Речной транспорт», №10, 1975. С. 27.
28. Гоманов Е.А. Автоматизация анализа и расчета технических норм работы флота / Е.А. Гоманов, Ю.И. Платов // Сб. ЦБНТИ МРФ «Передовой опыт и новая техника», вып. 8, (92), 1981. – С. 7–14.
29. Ширяев Е.В. Автоматизированные системы управления на водном транспорте – М.: Изд-во «Альтаир» МГАВТ, 2006. – 271 с.
30. Савин В.И. Расчёт графика движения на электронно-вычислительных машинах. – М.: Транспорт, 1968. – 216 с.
31. Савин В.И. Математические методы оптимального планирования работы флота и портов. – М. 1969. – 168 с.
32. Рыжов Л. М. Метод разработки базовой схемы графика движения флота / Л.М. Рыжов, С.М. Пьяных, Н.В. Пигалова // Труды / ГИИВТ. – Горький, 1975. – Вып. 146. – С. 70–75.
33. Роговский Е.А. Информационное общество (экономика и политика) / Е.А. Роговский. – М.: Международные отношения, 2008. – 400 с.
34. Платов А.Ю. Методология оперативного планирования работы речного грузового флота в рыночных условиях // Речной транспорт (XXI век). – 2010. – No 1. – С. 71–73.
35. Mundy R. A. Management Systems for Inland Waterway Traffic Control / R. A. Mundy, J.F. Campbell. Center for Transportation Research and Education. Iowa State University, 2005.
36. Carol J.L. Simulation of Waterway Transport Systems / J.L. Carol, M.S. Bronzini. Transportation Engineering Journal, Vol. 97, No. 3, August 1971. P. 527–539.
37. Bronzini M.S. Inland Navigation System Analysis / M.S. Bronzini. Vol. 5. CACI, Inc., U.S. Army Corps Engineers, Washington, D.C., 1976.
38. Waterway Analysis Model (WAM). User Manual. Shallow Draft Version, NITON, West Virginia, 2007.
39. Малышкин А.Г. Система автоматизированного расчета норм времени сгорания топлива / А.Г. Малышкин, А.Ю. Платов, Ю.И. Платов, С.Г. Смирнов // Научно-технический журнал «Речной транспорт» / ФГУП ЦБНТИ Минтранса РФ. – М., 2003. – С. 80–84.

Отформатировано: Шрифт: 10 пт

Отформатировано: Шрифт: 10 пт

Отформатировано: Шрифт: 10 пт

Отформатировано: Шрифт: 10 пт

40. Harilaos N. Psaraffis and Christos A. Kontovas. Green Maritime Transportation: Speed and Route Optimization. *Transportation Logistics The Quest for Win-Win Solutions*. Springer International Publishing Switzerland, 2016. Pp. 299–351.
41. Kowalski A. Cost optimization of marine fuels consumption as important factor of control ship's sulfur and nitrogen oxides emissions. *Scientific Journals Maritime University of Szczecin*, 2013, 36(108) z. 1 pp. 94–99.
42. Shradly D.A., Smith G.K., Vassian R.B. Predicting Ship Fuel Consumptions. *Naval Postgraduate School*, 1996. P. 70.
43. Miyeon Jeon, Yoojeong Noh, Yongwoo Shin, O-Kaung Lim, Inwon Lee, Daeseung Cho Prediction of ship fuel consumption by using an artificial neural network / *Journal of Mechanical Science and Technology* 32 (12) (2018): 5785-5796.

INFLUENCE OF SUBJECTIVE FACTORS ON THE IMPLEMENTATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES ON RIVER TRANSPORT

Juri I. Platov

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The relevance of the article is confirmed by the need to increase the level of development, implementation and use of information technologies in the field of fleet management. The article substantiates that the main difficulties with implementation are not dictated by objective conditions, but are in the field of subjective attitude of people influencing the development of managerial IT. The role of managers and the impact of organizational decisions on the success of IT development and implementation are shown, both in the past and in at present, which is illustrated in the historical aspect by the example of the Volgotanker shipping company, where the principles of informatization were observed and subjective factors had a strong influence. The author notes lack of demand for analytical IT at the present stage, despite the superiority of the domestic reserve and the high efficiency of modeling the movement of ships and the regulation of running time and fuel consumption by ships. The main directions of increasing the efficiency of IT in river transport in the context of the digitalization of the economy have been formulated.

Key words: automated control systems, digitalization, informatization, information collection and processing, information technologies, optimization of fleet planning, simulation of transport operations, subjective factors

References:

1. Barnhart C. *Handbooks in Operations Research and Management Science: Transportation*, Vol. 14 / C. Barnhart, G. Laporte (eds). Amsterdam: Elsevier, 2007.
2. Glushkov V.M. *Osnovy bezbumazhnoj informatiki M*; Nauka, 1982.
3. Nikanorov S. P., Nikitina N. K., Teslinov A. G. *Vvedenie v konceptual'noe proekti-rovanie ASU: analiz i sintez struktur*. – M.: Koncept, 2007.
4. Negroponte N. *Being Digital*. New York: Knopf, 1995.
5. Matt C., Hess T., Benlian A. *Digital Transformation Strategies*. *Business and Information Systems Engineering*. 2015. Vol. 57. N. 5. Pp. 339–343.
6. de Reuver M., Sorensen C., Basole R.C. *The digital platform: a Research agenda* // *Journal of Information Technology*. 2018. Vol. 33. No. 2. Pp. 124–135.
7. *Avtomatizirovannaja sistema upravlenija vodnym transportom* / V.I. Savin, V.V. Nevolin, V.N. Zaharov, A.A. Bulov. – M.: Transport, 1985.
8. Malyshkin A.G., Platov Ju.I. *Opyt razrabotki i vnedrenija ASU parohodstvom «Volgotanker» / Peredovoj opyt i novaja tehnika* / CBNTI. M., 1977. – Vyp. 7 (43). Pp. 3–9.
9. Nevolin V.V. *Problemy ASU «Rechfot»*. *Rechnoj transport*. – 1978. – № 1. – Pp. 25–26.
10. Platov Ju.I. *Problemy vnedrenija ASU*. *Zh. «Rechnoj transport»*, №9, 1979. Pp. 20–21.
11. Koka N.G. *ASU «Rechfot»: itogi i zadachi* / N.G. Koka *Rechnoj transport*. – 1983. – № 1. – Pp. 22–24.

12. Savin V.I. Osnovnye napravlenija razvitiya ASU «Rechflot» / V.I. Savin // Rečnoj transport. – 1986. – № 2. – Pp. 20–21.
13. Butov A.S. Chto meshaet vnedreniju ASU / A.S. Butov // Rečnoj transport. 1986. – № 11. – Pp. 28–29.
14. Platov A. Ju., Platov Ju. I. Problemy primeneniya sistem podderzhki prinjatija reshenij na rečnom transporte. Rečnoj transport (XXI vek). 2018. № 1 (85). – Pp. 22–24.
15. Mohammed Al-Yakoob, Salem. Mixed-integer mathematical programming optimization models and algorithms for an oil tanker routing and scheduling problem / Salem Mohammed Al-Yakoob. Dissertation for PhD in Math., Virginia Polytechnic Institute, Virginia, 1997.
16. Ronen D. Cargo Ships Routing and Scheduling: Survey of Models and Problems / D. Ronen // European Journal of Operational Research, 1983, No 12. Pp. 119–126.
17. Ronen D. Ship Scheduling: The Last Decade / D. Ronen // European Journal of Operational Research, 1993, No 71. Pp. 325–333.
18. Christiansen M. Maritime Transport Optimization: An Ocean of Opportunities / M. Christiansen, K. Fagerholt, G. Hasle, A. Minsaas, B. Nygreen. OR/MS Today, April, 2009, Pp. 26–31.
19. Pavlova O. Pochemu provalivajutsja IT-proekty: rasčety i realii / O. Pavlova // PC Week/RE, 2004. – № 4. URL: http://www.it.ru/press_center/publications/8400/; <https://www.itweek.ru/management/article/detail.php?ID=160673>
20. P'janyh S.M., Pigalova N.V. Avtomatizacija rasčeta grafka dvizhenija flota v parohodstvah central'nogo i severo-zapadnogo bassejnov na ES JeVM. Trudy / GIIVT. – Gor'kij, 1981. – Vyp. 187. – Pp. 3–10.
21. Charles T. Meadow. The Analysis of Information Systems: John Wiley & Sons, Inc. New York-London-Sydney, 1967.
22. Platov Ju. I., Dmitriev B. I. Opyt operativnogo uchjota stojanočnogo vremeni transportnogo flota s ispol'zovaniem sredstv distancionnoj peredachi. Proizvodstvenno-tehnicheskij sbornik CBNTI MRF RSFSR, №120, 1973. Pp. 21–28.
23. Jenciklopedija rečnogo transporta: V 3 t. T. 1: A-I: OAO «Giprorechtrans» 2011.
24. Jenciklopedija rečnogo transporta: V 4 t., T. 2: K-M.: OAO «Giprorechtrans» 2015.
25. Ryzhov L.M. Osnovy sozdaniya otraslevoj avtomatizirovannoj sistemy upravlenija rečnym transportom ASU rechflot / L.M. Ryzhov, // Trudy / GIIVT. – Gor'kij, 1972. – Vyp. 117, ch.2. – Pp. 3–19.
26. Platov Ju. I. Obespečenie dostovernosti dannyh v ASU na rečnom transporte novaja tehnika, sb. CBNTI Minrechflota, 1979, vyp. 4 (64). – s. 7–29.
27. Dubrovin I. M., Platov Ju. I. Ustranit' dvojnoj uchjot raboty flota Zh. «Rečnoj transport» 1979, vyp. 4 (64). – s. 7–29.
28. Gomanov E. A., Platov Ju. I. Avtomatizacija analiza i rasčeta tehničeskijh sbornik CBNTI MRF «Peredovoj opyt i novaja tehnika», vyp. 8, (92), 1981. – Pp. 7–14.
29. Shirjaev E. V. Avtomatizirovannye sistemy upravlenija na vodnom transporte MGAVT, 2006.
30. Savin V.I. Raschjot grafka dvizhenija na jelektronno-vychislitel'nyh mashinah. – M.: Transport, 1968.
31. Savin V.I. Matematicheskie metody optimal'nogo planirovanija raboty flota i portov. – M. 1969.
32. Ryzhov L.M., P'janyh S.M., Pigalova N.V. Metod razrabotki bazovoj shemy grafka dvizhenija flota Trudy / GIIVT. – Gor'kij, 1975. – Vyp. 146. – Pp. 70–75.
33. Rogovskij E.A. Informacionnoe obshhestvo (jekonomika i politika) / E.A. Rogovskij. –M.: Mezhdunarodnye otnoshenija, 2008.
34. Platov A. Ju. Metodologija operativnogo planirovanija raboty rečnogo gruzovogo flota v ryčnoj uslovijah // Rečnoj transport (XXI vek). – 2010. – No 1. – Pp. 71–73.
35. Mundy R. A. Management Systems for Inland Waterway Traffic Control / R. A. Mundy, J.F. Campbell. Center for Transportation Research and Education. Iowa State University, 2005.
36. Caroll J.L. Simulation of Waterway Transport Systems / J.L. Caroll, M.S. Bronzini. Transportation Engineering Journal, Vol. 97, No. 3, August 1971. Pp. 527–539.
37. Bronzini M.S. Inland Navigation System Analysis / M.S. Bronzini. Vol. 5. Corps Engineers, Washington, D.C., 1976.
38. Waterway Analysis Model (WAM). User Manual. Shallow Draft Version, NITC, West Virginia, 2007.
39. Malyshkin A.G., Platov A. Ju., Platov Ju. I., Smirnov S.G. Sistema avtomatizirovannogo vremeni sledovanija i rashoda topliva. Nauka i tehnika na rečnom transporte Mintransa RF. – M., 2003. – Pp. 80–84.

Отформатировано: Шрифт: 9 пт, немецкий (Германия)

Отформатировано: Шрифт: 9 пт

Отформатировано: Шрифт: 9 пт

Отформатировано: Шрифт: 9 пт, немецкий (Германия)

40. Harilaos N. Psaraffis and Christos A. Kontovas. Green Maritime Transportation: Speed and Route Optimization. Transportation Logistics The Quest for Win-Win Solutions. Springer International Publishing Switzerland, 2016. Pp. 299–351.
41. Kowalski A. Cost optimization of marine fuels consumption as important factor of control ship's sulfur and nitrogen oxides emissions. Scientific Journals Maritime University of Szczecin, 2013, 36(108) z. 1 Pp. 94–99.
42. Shradly D.A., Smith G.K., Vassian R.B. Predicting Ship Fuel Consumptions. Naval Post-graduate School, 1996.
43. Miyeon Jeon, Yoojeong Noh, Yongwoo Shin, O-Kaung Lim, Inwon Lee, Daeseung Cho Prediction of ship fuel consumption by using an artificial neural network / Journal of Mechanical Science and Technology 32 (12) (2018): 5785-5796.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Юрий Иванович Платов, д.т.н., проф., профессор кафедры управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5,
e-mail: platov1@yandex.ru

Juri I. Platov, Dr. Sci. Tech, professor of Transport Management Chair, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 11.03.2020 г.

УДК 656.629
DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.85>

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ВОЗМОЖНЫХ ТИПОВЫХ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СХЕМ ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРА НА ВНУТРИГОРОДСКИХ И ПРИГОРОДНЫХ МАРШРУТАХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПОЕЗДКИ

А.И. Телегин

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

Н.В. Гончарова

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

А.В. Юлова

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. В статье рассматриваются возможные транспортно-логистические схемы поездки пассажира «от двери до двери» на внутригородских и пригородных маршрутах в приречных регионах судами на воздушной подушке. Проведен анализ ряда научно-исследовательских работ отечественных ученых и англоязычных источников в области качества пассажирских перевозок, который показал, что исследования транспортно-логистических схем поездки пассажира с учетом таких факторов, как расстояние, стоимость, время поездки по любой представленной типовой схеме «от двери до двери» на внутригородских и пригородных маршрутах в приречных регионах автобусами и судном на воздушной подушке не встречаются. Предлагаемые авторами в статье сформированные типовые транспортно-логистические схемы поездки пассажира в альтернативных маршрутах и аналитический метод разработки технологического процесса поездки пассажира на внутригородских и пригородных маршрутах автомобильным и речным транспортом, с алгоритмом определения временных затрат могут быть использованы в транспортных организациях.

Ключевые слова: транспортно-логистическая схема, пассажирские перевозки, суда на воздушной подушке, внутригородской и пригородный маршруты.

Введение

На сегодняшний день современный подход организации регулирования внутригородских и пригородных пассажирских перевозок, в основном, заключается в принятии проектных решений, связанных с разработкой оптимальных транспортно-логистических схем поездки пассажира и определением сроков транспортировки путем создания схем доставки одним или несколькими альтернативными видами транспорта, методами современной организации и управления перевозками пассажиров, что обеспечивает необходимый уровень их транспортного обслуживания, определяющий безопасную и надежную поездку «от двери к двери» в определенный срок при минимально необходимых временных затратах.

Таким решением, с точки зрения авторов, может являться формирование типовых транспортно-логистических схем поездки пассажиров на внутригородских и пригородных маршрутах с использованием автомобильного и (или) речного транспорта (судна на воздушной подушке (СВП)) по принципу поездки «от двери до двери».

Процесс такой организации пассажирских перевозок, прежде всего, направлен на обеспечение надежности и безопасности перевозок, достоверным предоставлением пассажиру информации о транспорте, своевременной доставки «от двери до двери»,

создание комфортных и эстетически привлекательных условий поездки и перемещения из одного вида транспорта в другой и т. д.

Вопросы организации транспортно-логистического обслуживания пассажирских перевозок с учетом качественных потребительских свойств достаточно широко исследуются и представлены во многих научно-исследовательских работах ученых. В анализируемых публикациях (статьях) ученых, рассматриваются такие параметры качества, как время, затраты, привлекательность и др., влияющие на выбор пассажиром транспорта, представлены основные факторы, определяющие выбор пассажиром способа поездки. Учеными в работах проведен анализ прогнозирования спроса пассажира на пригородные перевозки, проанализировано качество транспортно-логистического обслуживания пассажиров и предложены альтернативы развития городского общественного транспорта на основе логистических принципов для обеспечения эффективной перевозки пассажиров [1–6]. Также в научных статьях представлен анализ факторов влияющие на качество пассажирских перевозки, предложены модели управления пассажирской транспортной системой, где органы власти должны изучать спрос населения, исследовать пассажиропотоки и разрабатывать оптимальные маршруты [7]. Однако исследование транспортно-логистических схем поездки пассажира с учетом таких факторов, как расстояние, стоимость, время поездки и др., по типовой транспортно-логистической схеме «от двери до двери» на внутригородских и пригородных маршрутах в приречных регионах автобусами и СВП не встречается.

Анализ англоязычных источников по вопросам качества перевозки пассажиров показал недостаточную степень рассмотрения данной проблематики, поэтому научные исследования в этом направлении актуальны.

Ниже авторами представлено формирование возможных типовых транспортно-логистических схем поездки пассажира на внутригородских и пригородных маршрутах автобусами и СВП.

1. Формирование возможных типовых схем поездки пассажира

Транспортно-логистические схемы поездки пассажира на внутригородских и пригородных маршрутах в приречных регионах следует рассматривать «от двери до двери» автомобильным и речным транспортом. Причем, наличие СВП позволяет перевозить пассажиров также осуществлять круглогодично, как в автобусах [8–10].

При поездке пассажира «от двери до двери» на внутригородском или пригородном маршруте с использованием СВП принимается, что:

а) пассажиру, вышедшему из дома, с работы или другого начального места, нужно пройти некоторый путь до транспорта общего пользования (автомобильного или речного), который ему необходим для поездки на внутригородском или пригородном маршруте;

б) СВП известных характеристик и пассажироместимости работает на нужном пассажиру маршруте в определенный дневной период времени, строго по расписанию, утвержденному региональными или местными (городскими) органами власти;

в) в расписании регламентировано время прихода и отхода СВП по всем пунктам водного маршрута;

г) на каждый водный пункт маршрута и, соответственно, из этого пункта ходят городские автобусы определенных типов и пассажироместимости, работающие по расписанию с обусловленным интервалом времени прихода в пункт, утвержденному региональными или местными (городскими) органами власти;

д) пассажиру известны гарантированные правилами перевозок и государственными стандартами условия и качество его обслуживания, а также безопасность при поездке в СВП на маршруте;

е) пассажиру известно, что он имеет право перевозить с собой бесплатно ребенка до определенного возраста, ручную кладь определенной массы и др.;

ж) пассажиру известны стоимость проезда на маршруте, а также определенные

льготы, предоставляемые некоторым категориям граждан, их размеры и условия предоставления.

Нормативно-правовыми документами, регламентирующими требования к качеству транспортно-логистического обслуживания пассажиров на транспорте, являются кодексы, уставы, правила перевозки пассажиров и правила предоставления пассажирам услуг [11–14]. Но наиболее интегрировано показатели качества по потребительским свойствам пассажирских перевозок представлены в государственном стандарте ГОСТ Р 51004-96. Услуги транспортные. Пассажирские перевозки. Номенклатура показателей качества [15]. В соответствии с указанным ГОСТом качество перевозок пассажиров оценивается по следующим показателям, представленным на рис. 1:



Рис. 1. Стандартные показатели качества по потребительским свойствам пассажирских перевозок

Приведенные выше показатели качества перевозки пассажира должны применяться как на автомобильном, так и на речном транспорте при организации и осуществлении перевозок пассажиров на внутригородском или пригородном маршрутах.

Авторами в дальнейших исследованиях, рассматриваются типовые транспортно-логистические схемы поездки пассажира «от двери до двери» на внутригородском (городском) или пригородном маршрутах с использованием автобусов и СВП.

Изложенное выше позволяет нам сформировать возможные типовые схемы поездки пассажира в альтернативных друг другу маршрутах, что показано на рисунках 2 и 3.

Временные отрезки пути пассажира								
Пассажир идет своим ходом до соответствующей автобусной остановки	Пассажир ожидает автобуса	Проезд автобусом до пункта назначения	Проезд автобусом до соответствующей пересадки	Ожидание автобусов на городских маршрутах	Проезд автобусом до автостанции	Ожидание автобуса на автостанции	Проезд автобусом до пункта назначения	Пассажир идет своим ходом до места назначения
$t_{\text{ид}}^{\text{А}}$	$t_{\text{ож}}^{\text{А}}$	$t_{\text{ПДВ1}}$	$t_{\text{ПДВ2}}$	$t_{\text{ож}}^{\text{А}}$	$t_{\text{ПСТ}}$	$t_{\text{ожст}}$	$t_{\text{ПДВ2}}$	$t_{\text{ид}}^{\text{А}}$
Городской автобусный маршрут								
	O_1^A	A_1 — A_1					A_2 — A_2	O_2^A
	O_2^A			$O_{ж2}^A$			A_2 — A_2	A_2
Пригородный автобусный маршрут								
	O_3^A	A_3 — A_3					A_4 — A_4	O_4^A
	O_4^A				A_4 — A_4	$O_{ж4}^A$	A_4 — A_4	A_4
	O_5^A		A_5 — A_5	$O_{ж5}^A$	A_5 — A_5	$O_{ж5}^A$	A_5 — A_5	A_5

Рис. 2. Возможные унифицированные схемы поездки пассажира до пункта назначения автобусами на городских и пригородных маршрутах

Временные отрезки пути пассажира								
Пассажир идет своим ходом до речного причала для поездки на СВП.	Пассажир идет своим ходом до соответствующей автобусной остановки.	Пассажир ожидает автобуса.	Проезд автобусом до речного причала для поездки на СВП.	Проезд автобусом до пересадки на автобус, идущий на речной причал.	Ожидание и проезд автобусом, идущим на речной причал.	Ожидание на речном причале СВП соответствующего маршрута.	Проезд на СВП до речного пункта назначения.	Пассажир идет своим ходом или едет автобусом до места назначения от речного причала.
$t_{р}^{св}$	$t_{р}^{св}$	$t_{р}^{ож}$	$t_{р}^{пав}$	$t_{р}^{пав}$	$t_{р}^{ож}$	$t_{р}^{ож}$	$t_{р}^{свп}$	$t_{р}^{св}$

Рис. 3. Возможные унифицированные схемы поездки пассажира до пункта назначения на внутригородских и пригородных маршрутах с использованием судов на воздушной подушке

Рассматриваемая типовая транспортно-логистическая схема поездки пассажира «от двери до двери» на внутригородском (городском) и пригородном маршрутах, с использованием автобусов и (или) СВП, понимается как унифицированная форма ее упорядоченного изложения, которая позволяет разработать соответствующий типовой технологический процесс с алгоритмизацией и определением его всех временных показателей. Для последующего сравнения схем перемещения пассажира на внутригородском (городском) или пригородном только автобусных маршрутах, с одной стороны, и речных маршрутах с использованием СВП, с другой стороны, необходимо учитывать следующие факторы:

1. На всех сравниваемых транспортно-логистических схемах перемещения пассажира места отправления и назначения должны быть одинаковыми для корректности сравнения маршрутов и по существу.
2. Расстояния и, соответственно, время поездки пассажира в каждом рассматриваемом автобусном маршруте будут разными в зависимости от:
 - расстояния между пунктами отправления и назначения пассажира;
 - мест нахождения остановок автобусов на городских и пригородных маршрутах;
 - мест расположения автостанций при поездке пассажира на пригородных маршрутах;
 - расстояния перемещения пассажира на автобусах на городском или пригородном маршрутах;
 - времени перемещения пассажира до соответствующих остановок автобусов;
 - скорости движения автобусов по городу и пригородам и др.
3. Расстояния и время проезда пассажира на внутригородском или пригородном маршрутах с использованием СВП будут разными в зависимости от:
 - расстояния расположения речных причалов относительно пассажира и возможности дойти до них своим ходом, а также доехать разными видами автотранспортных средств;
 - расписания движения СВП и фактической скорости их перемещения по судоходным путям;
 - погодных условий при движении СВП;
 - времени выполнения регламентированных транспортных услуг во все время пользования пассажиром речным транспортом (ожидание СВП, продажа билетов, посадка-высадка пассажиров и др.);
 - организации работы речного транспорта по обеспечению четкой и безаварийной работы СВП, строго по расписанию;

– физического возраста и состояния здоровья самого пассажира и др.

4. Время, которое пассажир затрачивает на проезд по любой типовой транспортно-логистической схеме, берется с учетом определенных в ней отрезков пути, а при применении методики в конкретных городах и их пригородах – на основании расписания работы имеющихся автотранспортных средств и планируемых (проектируемых) маршрутов с использованием СВП.

5. В представляемой методике имеется в виду, что в качестве автотранспортных средств на рассматриваемых городских и пригородных маршрутах используются автобусы и маршрутные такси разных марок, работающие по расписаниям с определенными интервалами движения, утверждаемыми и контролируруемыми местными органами власти.

2. Методика определения времени поездки пассажира по различным транспортно-логистическим схемам

С использованием представленных авторами результатов исследований типовые транспортно-логистические схемы могут быть представлены в более наглядной форме, с временными элементами перемещения пассажира, необходимыми для разработки методики (рис. 4–11).

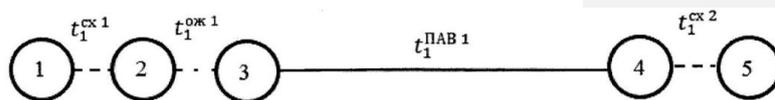


Рис. 4. Типовая транспортно-логистическая схема перевозки пассажира «от двери до двери» на городском автобусном маршруте (схема 1)

Время поездки пассажира по данной схеме (схема 1) можно определить по рекомендуемому авторами аналитическому выражению:

$$\sum_{i=1}^4 T_i^{\Gamma_{AB1}} = t_1^{cx1} + t_1^{ож1} + t_1^{ПАВ1} + t_1^{cx2}, \text{ ч} \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^4 T_i^{\Gamma_{AB1}}$ – затраченное пассажиром суммарное время своего перемещения с места отправления до места назначения с использованием одного автобуса городского маршрута;

t_1^{cx1} – время перемещения пассажира от дома (места отправления) до автобуса городского маршрута, идущего до нужного пункта назначения;

$t_1^{ож1}$ – время ожидания пассажиром автобуса;

$t_1^{ПАВ1}$ – время проезда пассажира на автобусе;

t_1^{cx2} – время перемещения пассажира от автобусной остановки до места своего назначения.

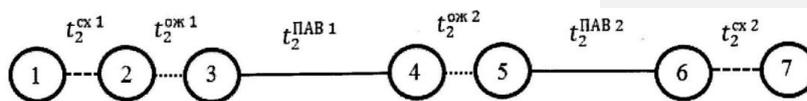


Рис. 5. Типовая транспортно-логистическая схема перевозки пассажира «от двери до двери» на городском автобусном маршруте (схема 2)

Время поездки пассажира по 2-ой схеме рекомендуется рассчитывать по предлагаемому авторами статьи аналитическому выражению:

$$\sum_{i=1}^6 T_i^{\Gamma AB2} = t_2^{cx1} + t_2^{ож1} + t_2^{ПAB1} + t_2^{ож2} + t_2^{ПAB2} + t_2^{cx2}, \text{ ч.}, \quad (2)$$

где $\sum_{i=1}^6 T_i^{\Gamma AB2}$ – затраченное пассажиром суммарное время своего перемещения с места отправления до места назначения с использованием двух автобусов городского маршрута;

$t_2^{cx1} \cdot t_2^{cx2}$ – время перемещения пассажира до автобуса городского маршрута в пункте отправления и от автобуса до места назначения;

$t_2^{ож1} \cdot t_2^{ож2}$ – время ожидания пассажиром первого и второго автобуса городского маршрута;

$t_2^{ПAB1} \cdot t_2^{ПAB2}$ – время проезда на первом и втором автобусе городского маршрута.

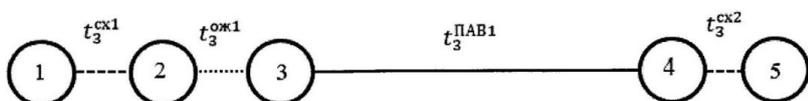


Рис. 6. Типовая транспортно-логистическая схема перевозки пассажира «от двери до двери» на пригородном автобусном маршруте (схема 3)

Время поездки пассажира по схеме 3 можно будет определить по следующему аналитическому выражению:

$$\sum_{i=1}^4 T_i^{\Gamma AB1} = t_3^{cx1} + t_3^{ож1} + t_3^{ПAB1} + t_3^{cx2}, \text{ ч.}, \quad (3)$$

где $\sum_{i=1}^4 T_i^{\Gamma AB1}$ – затраченное пассажиром суммарное время своего перемещения с места отправления до места назначения с использованием одного автобуса пригородного маршрута;

$t_3^{cx1} \cdot t_3^{cx2}$ – время перемещения пассажира до автобуса пригородного маршрута в пункте отправления и от автобуса до места назначения;

$t_3^{ож1}$ – время ожидания автобуса пассажиром в пункте отправления;

$t_3^{ПAB1}$ – время проезда пассажира на автобусе пригородного маршрута от пункта отправления до пункта назначения.

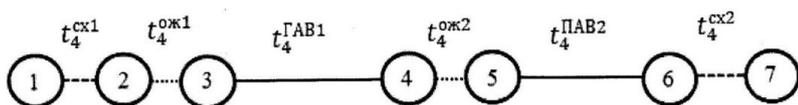


Рис. 7. Типовая транспортно-логистическая схема перевозки пассажира «от двери до двери» на пригородном автобусном маршруте (схема 4)

Время поездки пассажира по схеме 4 представим в следующем аналитическом выражении:

$$\sum_{i=1}^6 T_i^{\Gamma AB2} = t_4^{cx1} + t_4^{ож1} + t_4^{\Gamma AB1} + t_4^{ож2} + t_4^{ПAB2} + t_4^{cx2}, \text{ ч.}, \quad (4)$$

где $\sum_{i=1}^6 T_i^{\Gamma AB2}$ – затраченное пассажиром суммарное время своего перемещения с места отправления до места назначения с использованием одного автобуса, идущего на автостанцию, и одного пригородного маршрута;

$t_4^{cx1} \cdot t_4^{cx2}$ – время перемещения пассажира до автобуса городского маршрута, идущего на автостанцию, и от пригородного автобуса, прибывшего в пункт назначения;

$t_4^{ож1}, t_4^{ож2}$ – время ожидания пассажиром автобуса городского маршрута, идущего на автостанцию, и автобуса пригородного маршрута;
 $t_4^{ГAB1}, t_4^{ПAB2}$ – время проезда пассажиром на автобусах городского и пригородного маршрутов.

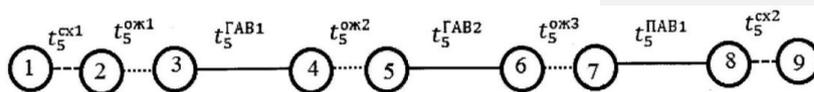


Рис. 8. Типовая транспортно-логистическая схема перевозки пассажира «от двери до двери» на городском и пригородном автобусных маршрутах (схема 5)

Определить время поездки пассажира по схеме 5 предлагается авторами по аналитическому выражению:

$$\sum_{i=1}^8 T_i^{ПAB3} = t_5^{cx1} + t_5^{ож1} + t_5^{ГAB1} + t_5^{ож2} + t_5^{ГAB2} + t_5^{ож3} + t_5^{ПAB1} + t_5^{cx2}, \text{ ч.}, \quad (5)$$

где $\sum_{i=1}^8 T_i^{ПAB3}$ – затраченное пассажиром суммарное время своего перемещения с места отправления до места назначения с использованием двух городских и одного пригородного автобусов;

t_5^{cx1}, t_5^{cx2} – время перемещения пассажира до автобуса городского маршрута и от автобуса пригородного маршрута до места назначения;

$t_5^{ож1}, t_5^{ож2}, t_5^{ож3}$ – время ожидания пассажиром двух автобусов городского маршрута ($t_5^{ож1}, t_5^{ож2}$) и пригородного автобуса на автостанции ($t_5^{ож3}$);

$t_5^{ГAB1}, t_5^{ГAB2}$ – время проезда пассажиром автобусами городского маршрута с пересадкой до автостанции на автобус пригородного маршрута;

$t_5^{ПAB1}$ – время проезда пассажиром автобусом пригородного маршрута до пункта назначения.

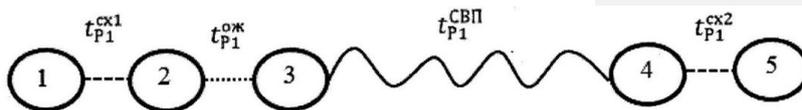


Рис. 9. Типовая транспортно-логистическая схема перевозки пассажира «от двери до двери» на внутригородском или пригородном речных маршрутах с использованием только судов на воздушной подушке (схема 1, речная)

Время поездки пассажира по схеме 1 (речной) следует рассчитывать по аналитическому выражению:

$$\sum_{i=1}^4 T_i^{СВП1} = t_{P1}^{cx1} + t_{P1}^{ож} + t_{P1}^{СВП} + t_{P1}^{cx2}, \text{ ч.}, \quad (6)$$

где $\sum_{i=1}^4 T_i^{СВП1}$ – затраченное пассажиром суммарное время своего перемещения с места отправления до места назначения с использованием для проезда СВП соответственно внутригородского или пригородного маршрутов;

$t_{P1}^{cx1}, t_{P1}^{cx2}$ – время перемещения пассажира до речного причала для посадки на СВП и от речного причала при приезде в пункт назначения;

$t_{P1}^{ож}$ – время ожидания пассажиром СВП на речном причале и приобретение билета;
 $t_{P1}^{СВП}$ – время проезда пассажира на СВП на внутригородском или пригородном маршрутах.

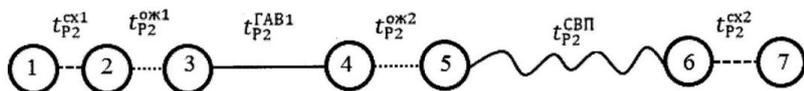


Рис. 10. Типовая транспортно-логистическая схема перевозки пассажира «от двери до двери» на внутригородском или пригородном речных маршрутах с использованием городского автобуса и судна на воздушной подушке (схема 2, речная)

Определить время поездки пассажира по схеме 2 (речной) можно по следующему аналитическому выражению:

$$\sum_{i=1}^6 T_i^{СВП2} = t_{P2}^{cx1} + t_{P2}^{ож1} + t_{P2}^{ГAB1} + t_{P2}^{ож2} + t_{P2}^{СВП} + t_{P2}^{cx2}, \text{ ч.}, \quad (7)$$

где $\sum_{i=1}^6 T_i^{СВП2}$ – затраченное пассажиром суммарное время своего перемещения с места отправления до места назначения с использованием для проезда одного городского автобуса и СВП на внутригородском или пригородном маршрутах;

$t_{P2}^{cx1}, t_{P2}^{cx2}$ – время перемещения пассажира до автобусной остановки городского маршрута и от речного причала с СВП, работающего на внутригородском или пригородном маршруте;

$t_{P2}^{ож1}, t_{P2}^{ож2}$ – время ожидания пассажиром автобуса городского маршрута и СВП на речном причале;

$t_{P2}^{ГAB1}$ – время проезда пассажира на автобусе городского маршрута до речного причала для поездки на СВП до нужного речного пункта назначения;

$t_{P2}^{СВП}$ – время проезда пассажира на судне на воздушной подушке до нужного речного пункта назначения.

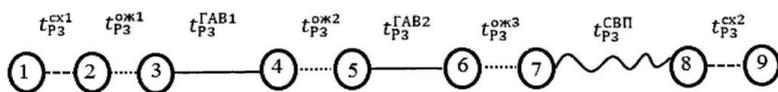


Рис. 11. Типовая транспортно-логистическая схема перевозки пассажира «от двери до двери» на внутригородском или пригородном маршрутах с использованием двух городских автобусов и судна на воздушной подушке (схема 3, речная)

Время поездки пассажира по схеме 3 (речной) предлагается рассчитывать по аналитическому выражению:

$$\sum_{i=1}^8 T_i^{СВП3} = t_{P3}^{cx1} + t_{P3}^{ож1} + t_{P3}^{ГAB1} + t_{P3}^{ож2} + t_{P3}^{ГAB2} + t_{P3}^{ож3} + t_{P3}^{СВП} + t_{P3}^{cx2}, \text{ ч.}, \quad (8)$$

где $\sum_{i=1}^8 T_i^{СВП3}$ – затраченное пассажиром суммарное время своего перемещения с места отправления до места назначения с использованием для проезда двух городских автобусов (с пересадкой) для проезда до речного причала и СВП на внутригородском или пригородном маршруте;

$t_{P3}^{cx1}, t_{P3}^{cx2}$ – время перемещения пассажира до автобусной остановки городского маршрута и от речного причала с СВП;

$t_{P_3}^{ож1}, t_{P_3}^{ож2}, t_{P_3}^{ож3}$ – время ожидания пассажиром одного городского автобуса ($t_{P_3}^{ож1}$), второго городского автобуса ($t_{P_3}^{ож2}$) и СВП ($t_{P_3}^{ож3}$) на внутригородском или пригородном маршрутах;

$t_{P_3}^{ГAB1}$ – время проезда пассажира на первом автобусе городского маршрута до пересадки на второй автобус;

$t_{P_3}^{ГAB2}$ – время проезда пассажира на втором автобусе городского маршрута, идущего на речной причал;

$t_{P_3}^{СВП}$ – время проезда пассажира на СВП на внутригородском или пригородном маршрутах.

Заключение

Представленные авторами транспортно-логистические схемы перевозки пассажира «от двери до двери» на внутригородском или пригородном речных маршрутах с использованием только СВП (схема 1, 2, 3 речные) являются унифицированными, а аналитические выражения (6), (7) и (8) можно использовать для расчетов временных отрезков и суммарного времени поездки пассажира как на внутригородских, так и пригородных маршрутах, с использованием СВП.

В настоящее время одной из основных задач развития транспортно-логистической системы страны является организация процесса взаимодействия различных транспортных средств, например, автомобильного и речного транспорта, учитывая потребности пассажиров при выборе транспортно-логистических схем поездки «от двери до двери», временные и стоимостные показатели качества.

По результатам исследований можно определить, что данный метод формирования типовых транспортно-логистических схем перевозки пассажира на внутригородских и пригородных маршрутах на автомобильном и речном транспорте (СВП), а также аналитические выражения определения времени поездки пассажира, могут представлять интерес как для пассажиров, так и транспортных организаций. Исследования в области качества перевозок пассажиров будут продолжены и представлены с апробацией методики в следующей научной публикации.

Список литературы:

1. Paramonova L.A., Study of the experience of use of intermodal technology in the organization of passenger transportations / L.A. Paramonova // International Journal of Advanced Studies. – 2016. – Vol. 6. – Is. 3. – Pp.87-105. Available at: <http://journal-s.org/index.php/ijas/article/view/9904/pdf>
2. Shirokorad O.A., Regional Information and Technology Aspects of Increase Quality of Passenger Transportation / O.A. Shirokorad, S.A. Arkhipov, P.P. Volodkin // IOP Conf Series: earth and environmental science 272 (2019). Available at: <https://doi.org/article/10.1088/1755-1315/272/3/032058/pdf>
3. Vakulenko S.P., Logistics of passenger transportation: features and basic concepts / S.P. Vakulenko, E.V. Kopylova // World of transport. – 2015. – Vol.13. – Is.3. – Pp.32-36. Available at: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/214/404>.
4. Cyprich O., Konecny V., Kilianova K. Short-term passenger demand forecasting using univariate time series theory // Promet-Traffic & Transportation. – 2013. – Vol. 25. – Is. 6. – Pp. 533-541. Available at: https://pdf.semanticscholar.org/e981/477a00ab01277c3bb4a5d697496425c8a0.pdf_ga=2.163183548.1259442633.1585918741-531702854.1584724640.
5. Zueva O.N, Logistic Integration and Coordination of Urban Public Transport Management / O.N. Zueva, M.A. Zhuravskaya., A.M. Sidorenko // Proceedings of the Ural state University of Economics. – 2018. – Vol. 19. – Is. 1. – Pp. 51–61. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/logistic-integration-and-coordination-of-urban-public-transport-management/viewer>.
6. Lekveishvili G.A., Application of genetic algorithm of optimization during the process of urban passenger traffic management / G.A. Lekveishvili, P.G. Gogiashvili, J.T. Chogovadze, D.G. Kbilashvili // Juvenis scientia. – 2018. – Is.11. – Pp. 5–8. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/application>

- ofgenetic-algorithm-of-optimization-during-the-process-ofurban-passenger-traffic-management/viewer.
7. Morchadze T., Development of measures for improvement of efficiency of City passenger conveyance / T. Morchadze, N. Rusadze // Don's Engineering Bulletin. – 2018. – Is. 1. – P. 88. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/development-ofmeasures-for-improvement-ofefficiency-ofciti-passenger-conveyance/viewer>
8. Телегин А.И. Исследование показателей качества, определяющих выбор пассажиром поездки в автобусе или судне на воздушной подушке на внутригородском или пригородном маршрутах / А.И. Телегин, А.О. Ничипорук, А.В. Юлова // Сборник статей участников Четырнадцатых Прохоровских чтений. – Н.Новгород: Изд-во «Автор». – 2019. – С. 150–155.
9. Телегин А.И. Принципы организации круглогодичной перевозки пассажиров на внутригородских и пригородных маршрутах / А.И. Телегин, А.В. Дмитриева // Труды 18-го международного научно-промышленного форума «Великие реки-2016». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vf-река-море.рф/2016/PDF/65.pdf>(дата обращения: 10.03.2020).
10. Телегин А.И. Сравнительный статистический анализ объемов перевозки пассажиров на пригородных маршрутах (линиях) автомобильным, железнодорожным и речным транспортом маршрутах / А.И. Телегин, А.В. Дмитриева // Труды 19-го международного научно-промышленного форума «Великие реки-2017». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vf-река-море.рф/2017/PDF/62.pdf>(дата обращения: 10.03.2020).
11. Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации от 07.03.2001 № 24-ФЗ (ред. от 29.12.2017). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_30650. (дата обращения: 10.03.2020).
12. Правила перевозок пассажиров и их багажа на внутреннем водном транспорте. Утверждены приказом Минтранса России от 5 мая 2012 г. N 140. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_136076. (дата обращения 10.03.2020).
13. Федеральный закон «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта» от 08.11.2007 N 259-ФЗ (ред. от 18.03.2020). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_72388/ (дата обращения 18.03.2020).
14. Постановление Правительства РФ от 14.02.2009 N 112 (ред. от 21.02.2020) "Об утверждении Правил перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_85364/515429bec93dd935981b1230045f92ca92af7b/ (дата обращения 10.03.2020).
15. ГОСТ Р 51004-96 Услуги транспортные. Пассажирские перевозки. Номенклатура показателей качества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200010825> (дата обращения 10.03.2020).

METHOD OF FORMING POSSIBLE STANDARD TRANSPORT AND LOGISTICS SCHEMES FOR PASSENGER TRANSPORTATION ON INTERCITY AND SUBURBAN ROUTES TO DETERMINE THE TRIP TIME

Anatoly I. Telegin

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Natalia V. Goncharova

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Anastasia V. Yulova

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article discusses possible transport and logistics schemes for a «door-to-door» passenger trip on intercity and suburban routes in the riverine regions by hovercraft. An analysis of a number of research works of Russian scientists and English-language sources in the field of passenger transport quality has been carried out, which has shown that the study of transport and logistics schemes for a passenger's trip concerning factors such as distance, cost, travel time according to any presented typical «door-to-door» scheme on bus routes and hovercraft are not found on intercity and suburban routes in the riverine regions. The author proposes typical transport and logistics schemes for passenger trips in alternative routes and

an analytical method for developing the technological process of passenger trips on intercity and suburban routes by road and river transport with an algorithm for determining time costs that can be used in transport organizations.

Key words: *transport and logistics scheme, passenger transportation, hovercraft, intercity and suburban routes.*

References:

1. Paramonova L.A., «Study of the experience of use of intermodal technology in the organization of passenger transportations» International Journal of Advanced Studies 6.3(2016):87-105. Web.10.Mar.2020 <<http://journal-s.org/index.php/ijas/article/view/9904/pdf>>.
2. Shirokorad O.A., Arkhipov S.A., Volodkin P.P. «Regional Information and Technology Aspects of Increase Quality of Passenger Transportation» IOP Conf Series: earth and environmental science 272 (2019). Web.10.Mar.2020 <<https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/3/032058>>.
3. Vakulenko S.P., Kopylova E.V. «Logistics of passenger transportation: features and basic concepts» World of transport 13.3(2015):32-36. Web.10.Mar.2020 <<https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/214/404>>.
4. Cyprich O., Konecny V., Kilianova K. «Short-term passenger demand forecasting using univariate time series theory» Promet-Traffic & Transportation 25.6(2013):533-541. Web.10.Mar.2020 <https://pdf.semanticscholar.org/e981/677a00ab01277c3bb4a5d697496425c8a0.pdf?_ga=2.163183548.1259442633.1585918741-531702854.1584724640>.
5. Zueva O.N, Zhuravskaya M.A., Sidorenko A.M. «Logistic Integration and Coordination of Urban Public Transport Management» Proceedings of the Ural state University of Economics 19.1(2018): 51–61. Web.10.Mar.2020 <<https://cyberleninka.ru/article/n/logistic-integration-and-coordination-of-urban-public-transport-management/viewer>>.
6. Lekveishvili G.A., Gogiashvili P.G., Chogovadze J.T., Kbilashvili D.G. «Application of genetic algorithm of optimization during the process of urban passenger traffic management» Juvenis scientia 11(2018):5-8. Web.10.Mar.2020 <<https://cyberleninka.ru/article/n/application-of-genetic-algorithm-of-optimization-during-the-process-of-urban-passenger-traffic-management/viewer>>.
7. Morchadze T., Rusadze N. «Development of measures for improvement of efficiency of City passenger conveyance» Don's Engineering Bulletin 1(2018):88. Web.10.Mar.2020 <<https://cyberleninka.ru/article/n/development-of-measures-for-improvement-of-efficiency-of-city-passenger-conveyance/viewer>>.
8. Telegin A.I., Nichiporuk A.O., Yulova A.V. «Issledovanie pokazatelej kachestva, opredelyayushchih vybor passazhirom poezdki v avtobuse ili sudne na vozduшной podushke na vnutrigorodskom ili prigorodnom marshrutah» Sbornik statej uchastnikov Chetyrnadcatyh Prohorovskih chtenij (2019):150-155.
9. Telegin A.I., Dmitrieva A.V. Principy organizacii kruglogodichnoj perevozki passazhirov na vnutrigorodskih i prigorodnyh marshrutah. V sbornike: Trudy 18-go mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma «Velikie reki-2016». Web.10.Mar.2020 <<http://vfp-peka-mope.pdf/2016/PDF/65.pdf>>.
10. Telegin A.I., Dmitrieva A.V. Sravnitel'nyj statisticheskij analiz ob'emov perevozki passazhirov na prigorodnyh marshrutah (liniyah) avtomobil'nym, zheleznodorozhnyim i rechnym transportom marshrutah. V sbornike: Trudy 19-go mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma «Velikie reki-2017». Web.10.Mar.2020 <<http://vfp-peka-mope.pdf/2017/PDF/62.pdf>>.
11. Kodeks vnutrennego vodnogo transporta Rossijskoj Federacii ot 07.03.2001 № 24-FZ. Web.10.Mar.2020 <http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_30650>.
12. Pravila perevozok passazhirov i ih bagazha na vnutrennem vodnom transporte. Utverzhdeny prikazom Mintransa Rossii ot 5 maya 2012 g. N 140. Web.10.Mar.2020 <http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_136076>.
13. Federal'nyj zakon «Ustav avtomobil'nogo transporta i gorodskogo nazemnogo elektricheskogo transporta» ot 08.11.2007 N 259-FZ (red. ot 18.03.2020). Web.18.Mar.2020 <http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_72388/>.
14. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 14.02.2009 N 112 (red. ot 21.02.2020) «Ob utverzhenii Pravil perevozok passazhirov i bagazha avtomobil'nym transportom i gorodskim nazemnym elektricheskim transportom». Web.10.Mar.2020 <http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_85364/515429bec93dd935981b1230045f92ca92af7bf/>.
15. GOST R 51004-96 Uslyugi transportnye. Passazhirskie perevozki. Nomenklatura pokazatelej kachestva Web. 10.Mar.2020 <<http://docs.cntd.ru/document/1200010825>>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Телегин Анатолий Иванович, д.т.н., профессор, профессор кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: kaf_lm@vsuwt.ru

Гончарова Наталья Владимировна, к.т.н., доцент кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: kaf_lm@vsuwt.ru

Юлова Анастасия Владимировна, аспирант кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: kaf_lm@vsuwt.ru

Anatoly I. Telegin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951,

Natalia V. Goncharova, Ph. D., Associate Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951,

Anastasia V. Yulova, Post-graduate Student of the Department of logistics and marketing, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 05.04.2020 г.

УДК 656.62.064

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.86>

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ ПО ПРИНЦИПУ «ТОЧНО В СРОК» НА РЕЧНОМ ТРАНСПОРТЕ

В.В. Цверов

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

М.А. Левочкина

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. В статье определена актуальность для речного транспорта доставки по принципу «точно в срок» и разработан алгоритм перехода к обеспечению доставки в срок на отдельных речных судоходных линиях. Проведена апробация предлагаемого научно-методического подхода обеспечения доставки в срок на примере действующей речной судоходной линии, в рамках которой разработаны меры стабилизации операций доставки по действующим дестабилизирующим факторам и оценена их эффективность. Оценена целесообразность перехода судоходной компании на вариант перевозок на условиях точно в срок применительно к конкретной судоходной линии. Предложена методика оценки вариантов доставки на условиях доставки в срок с точки зрения грузовладельца. Доказана возможность и целесообразность организации доставки точно в срок на отдельных речных судоходных линиях, как с точки зрения грузовладельцев, так и с точки зрения судоходных компаний с учетом обеспечения противодействия дестабилизирующим процесс факторам.

Ключевые слова: доставка продукции, «точно в срок», обеспечение сроков доставки, научно-методический подход, речной транспорт, грузовые перевозки.

Введение

Доставка в срок при перевозках грузов является важнейшим фактором при выборе способа доставки продукции грузовладельцем. На речном транспорте нестабильность продолжительности доставки приводит к отказу перевозить грузы (особенно высокотарифицированные, повышение запасов которых за счет размера гарантийных запасов ведет к значительному увеличению оборотных средств потребителя) этим видом транспорта. Обзор научно-методических публикаций [1–13] показал, что специальных исследований по обеспечению доставки точно в срок на речном транспорте не проводилось. Вопросы обеспечения доставки точно в срок, но без учета специфики речного транспорта рассматриваются в работах [10–13]. Все это обуславливает актуальность проводимого исследования по разработке научно-методического подхода обеспечения доставки грузов на речном транспорте по принципу «точно в срок».

Разработка подхода к обеспечению доставки грузов по принципу «точно в срок» на речной судоходной линии

Авторы ранее доказали [13], что обеспечение доставки «точно в срок» на речном транспорте возможно только при условии разработки системы обеспечения доставки «точно в срок» и в рамках данной статьи приводят подход к решению задачи применительно к отдельной речной судоходной линии. На рис. 1. предлагается разработанный алгоритм перехода к обеспечению доставки в срок в рамках речной судоходной линии. Апробация подхода проводилась на примере речной судоходной линии г. Череповец–

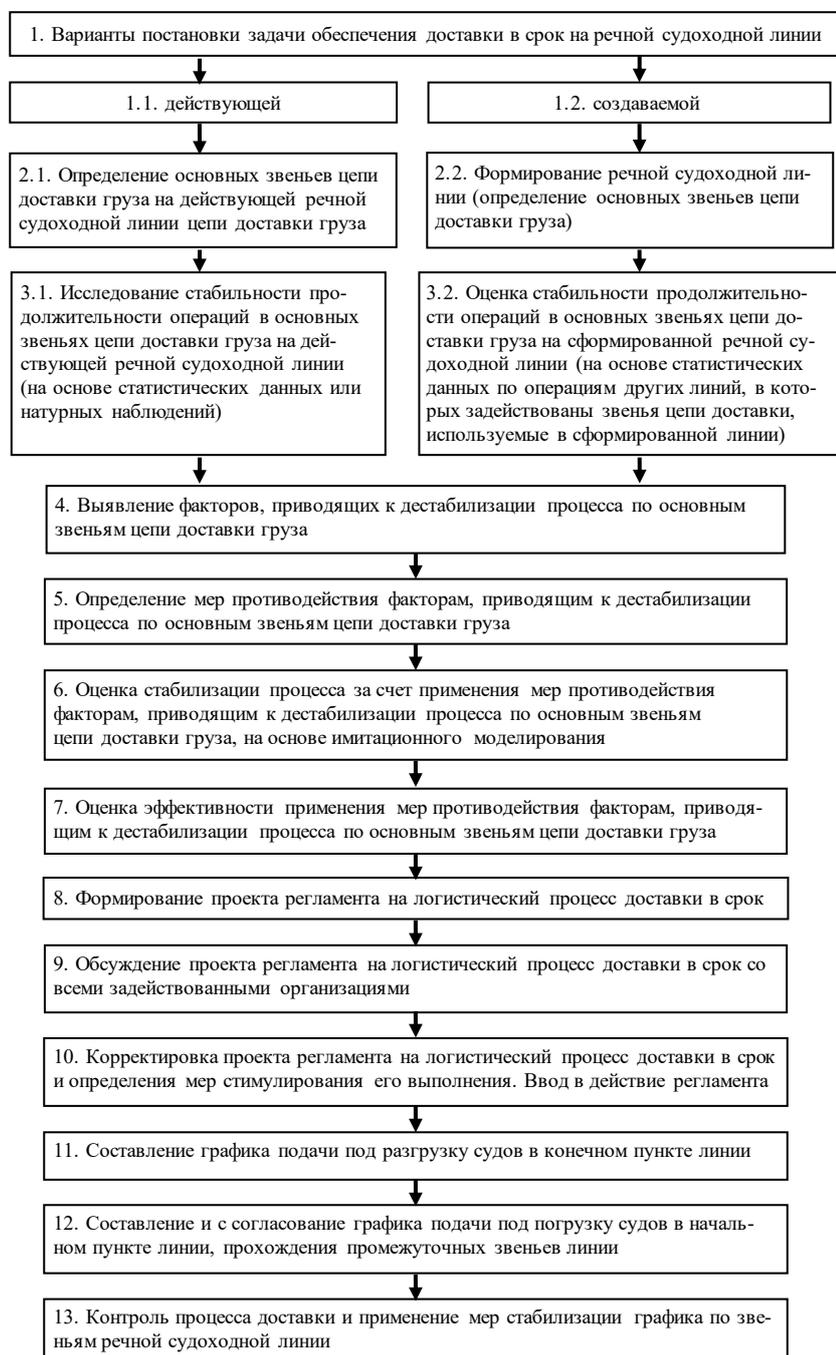


Рис. 1. Алгоритм перехода к обеспечению доставки в срок на речной судоходной линии

г. Санкт-Петербург, обеспечиваемой толкаемым составом грузоподъемностью 4000 т с толкачом типа «ОТ -2400».

Исследования показали, что на данный момент по нормам следования судоходной компании (норма составляет 113 часов) обеспеченность доставки в срок не превышает 80% (в 20 % рейсов нормы времени доставки превышаются), и это наглядно видно из графика общего времени по маршруту Череповец–Санкт-Петербург (рис. 2).

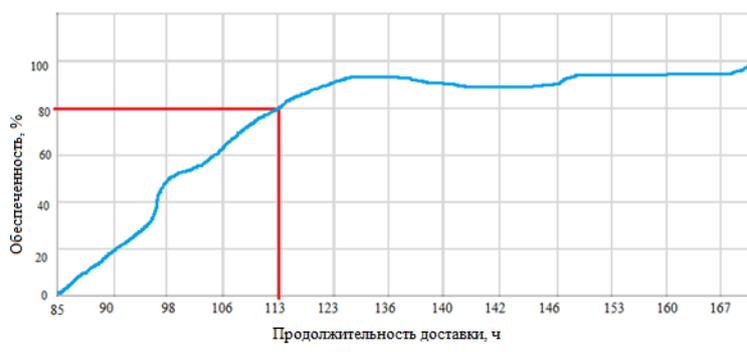


Рис. 2. Обеспеченность нормативного срока доставки на исследуемой линии

Исследование дестабилизирующих продолжительность доставки факторов, действующих на рассматриваемой линии, [13] позволило выявить наиболее значимые из них – они приведены в табл. 1. Авторами предлагаются пути стабилизации влияния этих факторов, которые приводятся в той же таблице.

Таблица 1

Пути сокращению сбоев из-за действия дестабилизирующих факторов в рамках логистического процесса «Управление обеспечением доставки в срок на речной судоходной линии» на линии Череповец -Санкт-Петербург

Причина дестабилизации в звене цепи доставки	Доля в общем отклонении срока доставки от нормативного, %	Пути решения проблемы
Ожидание в очереди на шлюзование	38	Разработка графика прохождения (временных окон) шлюзов на конкретной линии и разработка системы его соблюдения, что значительно сократит простои в ожидании обслуживания
Ожидание в очереди на грузовое обслуживание	29	Разработка графика на грузовое обслуживание, что сократит ожидание в очереди
Штормовая погода	21	Подбор судов, соответствующих району плавания – соответствующего регистра
Снабжение колпитом	10	Разработка системы снабжения продуктами питания с меньшими потерями времени
Ожидание лоцмана	2	Предварительная отправка заявки в обеспечении на судне лоцмана

В целом проект регламента на логистический процесс «Управление обеспечением доставки в срок на речной судоходной линии» должен включать:

- требования к типу судна и к техническому состоянию используемых судов;
- список основных контролируемых звеньев цепи доставки на линии;

- нормативную продолжительность и ее вариацию по основным контролируемым звеньям цепи доставки на линии;
- основной и альтернативные варианты исполнения операций в основных звеньях цепи доставки на линии, отличающиеся продолжительностью прохождения этих звеньев;
- согласованные с организациями исполнителями нормативные продолжительности и стоимости альтернативных вариантов исполнения операций в основных звеньях цепи доставки на линии;
- наличие диспетчера (логиста), осуществляющего мониторинг, контроль и регулирование прохождения звеньев цепи доставки на линии и список его полномочий;
- форму уведомления организаций исполнителей операций в основных звеньях цепи доставки на линии о варианте их исполнения в конкретном рейсе;
- меры экономического стимулирования за выполнение сроков доставки по графику и штрафные санкции за необеспечение графика движения в звеньях цепи доставки с учетом регулирования доставки логистом линии альтернативными вариантами исполнения.
- графики поступления судов в конечный и начальный пункт линии (с отклонениями);
- график прохождения каждого из звеньев цепи доставки на линии (временные окна);
- порядок корректировки (изменения) графика движения судов на линии.

Имитационное моделирование процесса доставки с учетом применения разработанных мер по каждому из дестабилизирующих факторов позволило оценить их влияние на обеспечение срока доставки (табл. 2).

Таблица 2

Результаты имитационного моделирования продолжительности операций с учетом разработанных мер сокращения сбоев на линии

Рейс №	Снабжение колпитом, ч		Ожидание в очереди на шлюзование, ч		Ожидание в очереди на грузовое обслуживание, ч		Штормовая погода, ч	
	Было	С учетом мер	Было	С учетом мер	Было	С учетом мер	Было	С учетом мер
1	7	1	20	0	12	1	15	7
2	8	1	8	0	10	1	12	2
3	7	1	8	0	8	0	12	3
4	10	1	15	0	13	0	10	4
5	9	1	7	1	4	0	5	0
6	8	1	6	0	10	1	14	2
7	10	1	15	0	15	1	17	1
8	6	2	15	1	5	0	2	0
9	7	1	5	1	4	0	3	0
10	9	1	13	0	12	1	5	0
11	6	1	10	2	10	0	4	0
12	8	1	20	2	10	0	13	5
13	8	1	15	0	15	1	3	0
14	10	1	10	0	13	0	16	16
15			7	0	14	0	8	0
16			24	2	5	0	8	7
17			15	1	13	1	9	0

В. В. Цверов, М. А. Левочкина

Научно-методический подход к обеспечению доставки грузов по принципу «точно в срок» ...

18					7	0	18	10
Всего	113	15	213	10	180	7	174	57

Из результатов оценки потерь времени судна от простоев при работе на линии видно, что потери снизились: ожидание в очереди на шлюзование на 95%, ожидание в очереди на грузовое обслуживание на 96%, штормовая погода на 67%, снабжение колпитом на 86%.

Продолжительность навигации составляет на линии 200 суток, после применяемых мер общее время простоя сократилось на 9 суток, что позволяет сделать еще 1 рейс.

Из графика обеспеченности общего времени по маршруту Череповец – Санкт-Петербург с учетом применяемых мер стабилизации (рис. 3) видно, что по нормам судоходной компании обеспеченность доставки в срок составила 93%. Она повысилась на 13%, что повышает способность доставки груза точно в срок.

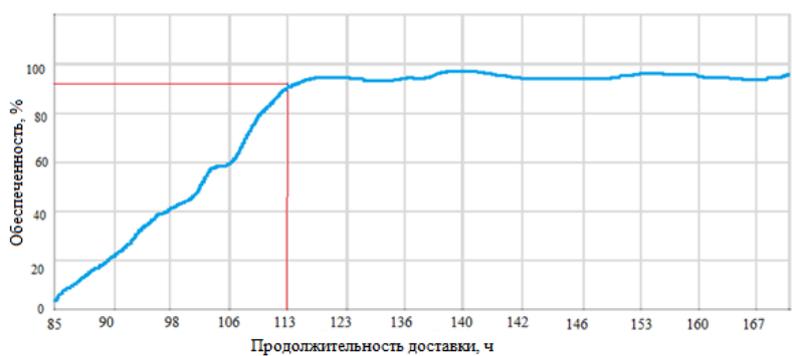


Рис. 3. Обеспеченность нормативного срока доставки на исследуемой линии с учетом применения мер стабилизации

Далее следует оценить целесообразность использования варианта доставки с мерами обеспечения доставки «точно в срок» по сравнению с обычной доставкой с точки зрения речного транспорта (судоходной компании) по экономическим показателям.

На рассматриваемой линии Череповец – Санкт-Петербург для сокращения простоя из-за штормовой погоды в качестве меры стабилизации используется замена состава с толкачом типа «ОТ-2400» на теплоход типа «Сормовский», имеющий класс регистра, позволяющий ходить при более высокой волне; в то же время он отличается по ряду других показателей (грузоподъемности, стоимости, затратам на эксплуатацию и др.) и это затрудняет оценку вариантов перевозок. В табл. 3 приведены результаты оценки вариантов доставки груза: базового – составом грузоподъемностью 4000 т с толкачом типа «ОТ-2400»; проектного – с учетом мер обеспечения доставки «точно в срок» теплоходом типа «Сормовский» грузоподъемностью 3000 т.

Из результатов расчетов по перевозке на линии Череповец – Санкт-Петербург видно, что прибыль за навигацию больше на 1156 тыс. руб. при эксплуатации судна проекта «Сормовский». Рентабельность капитала по судну проекта «Сормовский» выше на 11%, чем по судну проекта «ОТ-2400». Это говорит о том, что с точки зрения судоходной компании при доставке груза на линии Череповец-Санкт-Петербург предпочтительнее использовать вариант доставки по системе «точно в срок» по сравнению с существующим вариантом доставки толкаемым составом.

При этом нужно иметь в виду, что решение об использовании варианта доставки (на обычных условиях или условиях «точно в срок») принимает грузовладелец (обычно

покупатель продукции) и ему требуется доказать, что предлагаемый вариант с использованием речного транспорта лучше, чем с другими видами транспорта.

Таблица 3

Результаты расчетов перевозки груза на линии Череповец-Санкт-Петербург в т/х типа «Сормовский» и толкаемом составе с толкачом типа «ОТ-2400»

Наименование показателя	Вариант доставки	
	Базовый – состав «ОТ-2400»	Проектный - с учетом разработанных мер доставки в срок (т/х «Сормовский»)
Объем перевозок на линии за 1 рейс, т.	4000	3000
Количество рейсов	21	23
Доходная ставка за перевозки, руб./т	900	900
Ставка по расходам, руб./т	460	400
Доходы за навигацию, тыс. руб.	75600	62100
Расходы за навигацию, тыс. руб.	38640	27600
Штрафы за несоблюдение сроков доставки за навигацию, тыс. руб.	4752	1134
Рентабельность капитала, %	9	20
Прибыль, тыс. руб.	32208	33366

Грузовладелец принимает решение по варианту доставки исходя из наименьших суммарных издержек, связанных с доставкой при обеспечении бесперебойности снабжения. В общем случае они могут быть определены по формуле

$$Z_{II} = G \cdot S_d + Z_{CT} + Z_{ГЗ} + Z_{СП} - B_{Ш}, \quad (1)$$

где Z_{II} – издержки покупателя, связанные с доставкой закупленной продукции, руб.;

G – объем поставок, т;

S_d – стоимость доставки одной тонны продукции от поставщика до покупателя по рассматриваемому варианту условий доставки, руб./т;

Z_{CT} – издержки по страхованию груза, зависящие от вида транспорта и продолжительности доставки, руб.;

$Z_{ГЗ}$ – издержки по обеспечению предприятия, зависящие от размера гарантийных запасов продукции у покупателя (необходимых для обеспечения бесперебойности снабжений), руб.;

$Z_{СП}$ – издержки покупателя по доставке продукции, зависящие от размеров партий и времени доставки продукции, руб.;

$B_{Ш}$ – штрафные выплаты транспортной компанией за несоблюдение сроков доставки, зависящие от уровня надежности системы доставки по срокам и оговоренных ставок штрафных санкций, руб.

Издержки покупателя по обеспечению предприятия, зависящие от размера гарантийных запасов определяются по формуле

$$Z_{ГЗ} = G_{ГЗ} \cdot (Ц_{БСВ} + S_d) \cdot (D_K - I) / 100 + 365 \cdot S_{ХС}, \quad (2)$$

где $G_{ГЗ}$ – размер гарантийного запаса, обусловленный уровнем надежности системы доставки и интервалом между поставками (в свою очередь зависящих от размером партий отправок), т.

$Ц_{БСВ}$ – цена единицы продукции при базисе поставки «склад поставщика», руб./т;

D_K – коэффициент эффективности использования оборотных средств, который может быть принят на уровне ставки банковского кредита в год, %;

I – уровень инфляции за год, %;

S_{XC} – себестоимость хранения материальных ресурсов на складе снабжения покупателя (потребителя), руб./т-сут.

Издержки покупателя, зависящие от размеров партий и времени доставки продукции определяются по формуле:

$$Z_{\text{зп}} = (C_{\text{БСВ}} + S_{\text{д}}) \cdot G \cdot (T_{\text{д}} + \frac{Q_{\text{п}}}{2 \cdot q}) \cdot \frac{D_{\text{к}} - I}{36500} + G \cdot T_{\text{ХМР}} \cdot S_{\text{XC}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{д}}$ – продолжительность доставки по варианту условий перевозки, сут;

$Q_{\text{п}}$ – размер партий отправок по варианту условий перевозки, т;

q – среднесуточная потребность в перевозимой продукции, т/сут;

$T_{\text{ХМР}}$ – средняя продолжительность хранения материальных ресурсов на складе потребителя, получаемых по рассматриваемому варианту доставки, сут.

Для оценки конкурентоспособности варианта доставки на условиях «точно в срок» речным транспортом сравним его с вариантом доставки на условиях «точно в срок» железнодорожным транспортом. Результаты такой оценки приведены в табл. 4.

Таблица 4

Сравнительная оценка перевозки вариантов доставки на линии Череповец–Санкт-Петербург на условиях «точно в срок» речным и железнодорожным транспортом

Наименование показателя	Вариант перевозки на условиях доставки в срок	
	Речным транспортом	Железнодорожным транспортом
Объем перевозок на линии за 1 рейс, тыс. т.	3000	3000
Количество рейсов	23	23
Ставка платы за перевозки, руб./т (на линии Череповец-Санкт-Петербург)	900	1841
Расходы по платежам за перевозку за навигацию, тыс. руб.	62100	127029
Штрафы за несоблюдение сроков доставки за навигацию, тыс. руб.	1134	2611
Издержки грузовладельца, связанные с перевозкой, тыс. руб.	59832	124418

Из сравнительной оценки перевозки груза речным и железнодорожным транспортом на условиях «точно в срок» видно, что по основным статьям затрат (платежам за перевозку с учетом штрафных санкций по срокам доставки) без учета издержек по запасам (во многом зависящим от системы управления запасами у грузовладельца) доставка груза в срок речным транспортом на данной линии для грузовладельца предпочтительна (издержки ниже более чем в два раза). Это доказывает возможность и целесообразность разработки систем доставки «точно в срок» на отдельных речных судоходных линиях с высокотарифицированным грузом.

Заключение

Основные выводы и результаты по проведенным исследованиям:

1. Разработан научно-методический подход к формированию регламента на управление процессом обеспечения доставки по принципу «точно в срок» на речной судоходной линии (см. рис. 1);

3. Апробация алгоритма перехода к обеспечению доставки в срок на речной судоходной линии, показала возможность и эффективность его применения в практике речных судоходных компаний;

4. Проведено имитационное моделирование процесса доставки на речной линии с учетом мер стабилизации процесса доставки, которое показало, что повышение надежности доставки по срокам на речном транспорте (при условии разработки системы обеспечения доставки в срок применительно к конкретной линии работы речных судов) возможно;

5. Предложена методика оценки вариантов доставки на условиях точно в срок с точки зрения грузовладельца.

6. Доказано, что на отдельных линиях перевозок на условиях доставки «точно в срок» речной транспорт может иметь конкурентные преимущества по сравнению с железнодорожным транспортом.

Список литературы:

1. Бенсон Д., Уайтхед Дж. Транспорт и доставка грузов / Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1990. – 279 с.
2. Hakan G. An empirical modelling framework for forecasting freight transportation // *Transport*. – 2014. – N. 29. – pp. 185–194.
3. Лайсонс К., Джиллингс М. Управление закупочной деятельностью и цепью поставок / Пер. с англ. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 798 с.
4. Линдерс М.Р., Фирон Х.Е. Управление снабжением и запасами. Логистика / Пер. сангл. – СПб.: Виктория плюс, 2002. – 768 с.
5. Long Q., Zhang W. An integrated framework for agent based inventory–production–transportation modeling and distributed simulation of supply chains // *Information Sciences*. – 2014. – N. 277. – pp. 567–581.
6. Lukinskiy V.S., Dragomirov V. Methods of evaluating transportation and logistics operations in supply chains // *Transport and Telecommunication*, 2016. – volume 17. – no. 1. – P.55–59.
7. Сергеев В.И. Менеджмент в бизнес-логистике. – М.: Филинь, 1997. – 772 с.
8. Сток Дж.Р., Ламберг Д.М. Стратегическое управление логистикой / Пер. с англ. – М.: ИНФРА-М, 2005, XXXII. – 797 с.
9. Транспортная логистика: учебное пособие / Под редакцией Л.Б. Миротина. – М.: МГАДИ (ТУ), 1996. – 211 с.
10. Федоров Л.С., Персианов В.А., Мухаметдинов И.Б. Транспортная логистика: учебное пособие / Под общ. ред. Л.С.Федорова – 2-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2016. – 310 с.
11. Уолтерс Д. Логистика: управление цепью поставок / Пер. с англ. – М.: Юнити, 2003. – 503 с.
12. Цверов В.В. Управление доставкой материальных ресурсов «от двери до двери» и «точно в срок» // Теоретически-методический журнал «Вестник Университета». – 2008. – № 16/26. – С. 168–172.
13. Цверов В.В., Левочкина М.А. Исследование факторов, дестабилизирующих сроки доставки на речном транспорте // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2019. – № 58. – с. 136–141.

SCIENTIFIC-METHODICAL APPROACH TO CARGO DELIVERY ON THE PRINCIPLE «JUST-IN-TIME» ON THE RIVER TRANSPORT

Vladimir V. Tsverov

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Maria A. Levochkina

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article defines the relevance of delivery on the principle of «just-in-time» for the river transport and presents a developed algorithm for the transition to ensuring delivery on time on individual river shipping lines. An approbation of the proposed scientific and

methodological approach to ensuring delivery on time was carried out using the example of the existing river service line, within which measures were developed to stabilize the delivery operations according to the current destabilizing factors and their effectiveness was evaluated. The article presents methodology for estimating delivery options on the terms of on time delivery from the point of view of the cargo owner. The possibility and expediency of organizing delivery on time on individual river shipping lines has been proved, both from the point of view of cargo owners and from the point of view of shipping companies, taking into account the provision of counteraction to destabilizing factors.

Keywords: *product delivery, «just-in-time», delivery terms ensuring, scientific and methodological approach, river transport, freight transportation.*

References:

1. D. Benson, Whitehead J. Transport and Cargo Delivery / Trans. from English – M.: Transport, 1990. – 279 p.
2. Hakan G. An empirical modeling framework for forecasting freight transportation // Transport. – 2014. – N. 29. – pp. 185–194.
3. Laysons K., Gillingen M. Management of procurement and supply chain / Per. from English – M.: INFRA-M, 2005. – 798 p.
4. Linders A.R., Firon H.E. Supply and inventory management. Logistics / Trans. sang – SPb.: Victoria Plus, 2002. – 768 p.
5. Long Q., Zhang W. Supply sciences inventory integrated – 2014. – N. 277. – pp. 567–581.
6. Lukinskiy V.S., Dragomirov V. Methods of evaluating transport and telecommunications, Transport and Telecommunication, 2016. – volume 17. – no. 1. – R.5–59.
7. Sergeev V.I. Management in business logistics. – M.: Filin, 1997. – 772 p.
8. Stoke J.R., Lamberg D.M. Strategic Logistics Management / Trans. from English – M.: INFRA-M, 2005, XXXII. – 797 s.
9. Transport logistics: study guide / Edited by L. B. Mirotina – M.: MGADI (TU), 1996. – 211 p.
10. Fedorov LS, Persianov V.A., Mukhametdinov I.B. Transport logistics: a tutorial / Under total. ed. L.S.Fedorova – 2nd ed., Sr. – M.: KNORUS, 2016. – 310 p.
11. Walters D. Logistics: supply chain management / Per. from English – M.: Unity, 2003. – 503 p.
12. Tsverov V.V. Managing the delivery of material resources «from door to door» and «just in time» // Theoretical-methodical journal «University Bulletin». – 2008. – № 16/26. – p. 168–172.
13. Tsverov V.V., Levochkina M.A. The study of factors destabilizing the delivery time for river transport // Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport. – 2019. – No. 58. – p. 136–141.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Владимир Викторович Цверов, д.э.н., доцент, профессор кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: v.tsverov@yandex.ru

Мария Алексеевна Левочкина, магистрант, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: levochkinam@mail.ru

Vladimir V. Tsverov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951,

Maria A. Levochkina, magistrant, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 13.03.2020 г.

Раздел IV

**Эксплуатация водного транспорта,
судовождение
и безопасность судоходства**

Section IV

***Operation of water transport, navigation
and safety of navigation***



УДК 629.122.004.69

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.87>

ПРОБЛЕМА БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКСПОРТНО-ИМПОРТНЫХ ПЕРЕВОЗОК В КОРИДОРЕ СЕВЕР-ЮГ-СЕВЕР

Г.В. Веселов

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

И.К. Кузьмичев

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

В.И. Минеев

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

А.В. Новиков

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. Актуальность поставленных вопросов в теме статьи очевидна, поскольку согласно экспертным оценкам пропускная способность водного коридора «Север-Юг-Север» составляет около 7–8 тонн грузов. Отдельные вопросы данной проблемы нашли свое отражение в различных публикациях в разное время, однако важность рассматриваемых в статье вопросов в настоящее время не снижается. Более того данные статистической отчетности свидетельствуют о том, что несмотря на снижение интенсивности судоходства и пополнение флота более современными судами количество транспортных происшествий, особенно ударов, в 2018 году по сравнению с 2008 годом возросло в 4 раза. В статье проанализирована динамика исследуемого вопроса выявлены основные причины транспортных происшествий, даны рекомендации к порядку пропуска судов через гидрозлы при неблагоприятных погодных условиях.

Ключевые слова: показатели аварийности на транспорте, интенсивность судоходства, транспортные происшествия, правила плавания, управляемость судов, порывы ветра, оптимальная мощность толкачей, порядок пропуска судов, перевозки экспортно-импортных грузов.

Введение

Данный водный путь включает морские участки, крупные водохранилища Волжско-Камского бассейна, шлюзованные участки рек Волги и Камы, каналы, где скорость движения судов в зависимости от грузоподъемности существенно ограничена.

На водном пути от Астрахани до Санкт-Петербурга протяженностью свыше 3600 км. шлюзы расположены в среднем через 246 км., а на линиях от Ростова – на Дону до Санкт-Петербурга протяженностью 3730 км. – через 132 км.

Таким образом, транспортные суда каждые сутки вынуждены выполнять сложное маневрирование при заходе в шлюз и при выходе из него. Ситуация усугубляется при неблагоприятном ветре и при движении в подходных каналах к шлюзу в порожнем состоянии.

Как показывает практика, полностью устранить аварийность не удастся. Однако с помощью мер технического, организационного и правового характера возможно достичь снижения аварийности на внутреннем водном транспорте.

Решение проблемы надежности перевозок экспортно-импортных грузов в установленные сроки в водном коридоре «Север-Юг-Север» протяженностью 7200 км связано с обеспечением безопасности судоходства.

Основная часть

Аварийность на транспорте, в том числе и на внутреннем водном, обусловлена целым рядом причин, в основе которых лежат факторы самого транспортного процесса: транспортная инфраструктура, технические средства и квалификация кадров. Вместе с тем, необходимо иметь в виду, что каким бы современным не было судно с опытным и грамотным экипажем, нельзя исключать возможности возникновения нештатной ситуации, результатом которой может быть транспортное происшествие.

Как показывает практика, полностью устранить аварийность не удается. Однако с помощью мер технического, организационного и правового характера возможно достичь снижения аварийности на внутреннем водном транспорте.

Важнейшим меридианным коридором в России является МТК «Север-Юг-Север», связывающий через территорию России страны Юго-Восточной Азии и Северной и Западной Европы. По этому транспортному коридору осуществляется доставка грузов из Скандинавии и регионов Восточной и Центральной Европы с использованием внутренних водных путей европейской части России в порты на Каспии, страны Персидского залива, Индию и в обратном направлении. Согласно экспертным оценкам пропускная способность коридора составляет около 7–8 млн. тонн грузов в год (Рис. 1).

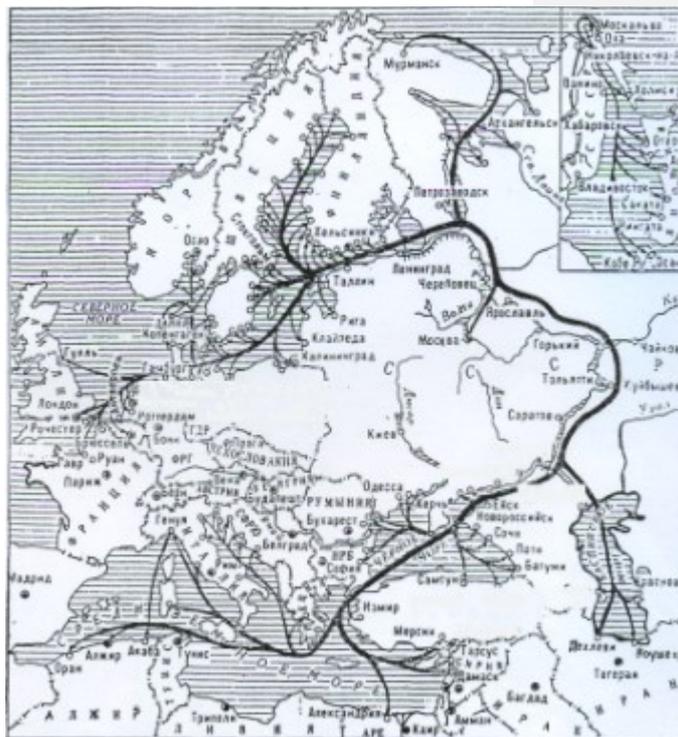


Рис. 1. Схема перевозок внешнеторговых грузов в коридоре Север-Юг-Север

Решение проблемы надежности перевозок экспортно-импортных грузов в установленные сроки в водном коридоре «Север-Юг-Север» протяженностью 7200 км связано с обеспечением безопасности судоходства.

Данный водный путь включает морские участки, крупные водохранилища Волго-Камского бассейна, шлюзованные участки рек Волги и Камы, каналы, где скорость движения судов в зависимости от грузоподъемности существенно ограничена (табл. 1)

На водном пути от Астрахани до Санкт-Петербурга протяженностью свыше 3600 км. шлюзы расположены в среднем через 246 км., а на линиях от Ростова – на Дону до Санкт-Петербурга протяженностью 3730 км. – через 132 км.

Таблица 1

**Допустимые скорости движения судов
в судоходных каналах, км./час**

Наименование судоходного канала	Длина участка, км.	Грузоподъемность судов, т.		
		Свыше 3000	От 2000 до 3000	Менее 2000
Канал им. Москвы	82	10	12	12
Волго-Донской канал им. В.И. Ленина	58,5	7	8	11
Волго-Балтийский канал	56,5	10	12	12

Таким образом, транспортные суда каждые сутки вынуждены выполнять сложное маневрирование при заходе в шлюз и при выходе из него. Ситуация усугубляется при неблагоприятном ветре и при движении в подходных каналах к шлюзу в порожнем состоянии.

Согласно данным [4] более 50% всех аварий с судами на внутренних водных путях происходит в подходных каналах и при заходе или выходе из камер шлюзов при неблагоприятных погодных условиях с порожними судами. Показатели аварийности на внутренних водных путях по видам транспортных происшествий за период с 2008 по 2018 годы приведены в табл. 2.

Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что несмотря на снижение интенсивности судоходства и пополнение флота более современными судами, количество транспортных происшествий, особенно ударов, в 2018 году по сравнению с 2008 годом увеличилось в четыре раза.

Согласно данным ГОСМОРРЕЧНАДЗОРА основными причинами транспортных происшествий на внутренних водных путях являются:

1. Невыполнение командным составом требований, установленных в нормативных документах по безопасности судоходства.
2. Невыполнение береговыми работниками требований, установленных в нормативных документах.
3. Судоводительские ошибки.
4. Наступление обстоятельств, которые невозможно было предотвратить.
5. Неудовлетворительное содержание ГТС.
6. Неудовлетворительное содержание пути, навигационного оборудования, выбор неудачного маневра.

Таблица 2

**Показатели аварийности на внутренних водных путях
 по видам транспортных происшествий**

Наименование показателей	Период			
	2008	2015	2016	2018
1. Транспортных происшествий всего из них:	66	93	105	116
1.1. Аварий	1	7	6	1
1.2. Инцидентов	65	86	99	115
2. Виды транспортных происшествий				
2.1. Удар	12	37	46	48
2.2. Затопление судов	7	9	2	3
2.3. Столкновение судов	4	11	9	11
2.4. Посадка на мель	34	23	34	37
2.5. Повреждение ГТС	6	12	9	11
2.6. Другие	3	1	5	6
3. Количество погибших, чел.		5	2	1

Основной причиной навалов и ударов порожних судов является не только их недостаточная управляемость при неблагоприятных погодных условиях в ограниченных габаритах пути. Одной из причин транспортных происшествий ГОСМОРРЕЧНАДЗОР называет «наступление обстоятельств, которые невозможно было предотвратить» не конкретизируя, что же это за обстоятельства. Очевидно, что к этому пункту, кроме всего прочего, отнесены и происшествия связанные, на наш взгляд, с неопределенностью из-за точности прогнозирования погодных условий.

Так, согласно Правилам плавания, эксплуатация судов класса «О» разрешается при ветре до 6 баллов, скорость которого может достигать 7,5–9,8 м/с, а при порывах ветра – 17,8 м/сек (табл. 3), при этом давление ветра увеличивается более чем в 4 раза. В такой ситуации порожние суда в ограниченных габаритах водных путей теряют управляемость.

Таблица 3

Сила ветра в баллах по шкале Бофорта

Сила ветра, баллы	Ветер	Скорость ветра, м/с	Скорость ветра при порывах, м/с	Давление ветра, Н/м ²
0	Штиль	0–0,5	1,0	0
1	Тихий	0,6–1,7	3,2	1
2	Легкий	1,8–3,3	6,2	5
3	Слабый	3,4–5,2	9,6	20
4	Умеренный	5,3–7,4	13,6	40
5	Свежий	7,5–9,8	17,8	60
6	Сильный	9,9–12,4	22,2	110
7	Крепкий	12,5–15,2	26,8	170
8	Очень крепкий	15,3–18,2	31,6	250
9	Шторм	18,3–21,5	36,7	350
10	Сильный шторм	21,6–25,1	42	460

Сила ветра, баллы	Ветер	Скорость ветра, м/с	Скорость ветра при порывах, м/с	Давление ветра, Н/м ²
11	Жестокий шторм	25,2–29	47,5	640
12	Ураган	Свыше 29	Свыше 53	Свыше 740

Особую опасность представляют навалы и удары сухогрузных и пассажирских судов о нефтеналивные суда с грузом I и II класса.

Для повышения управляемости судов из мер технического характера используются:

- повышение мощности главных двигателей судов;
- установка дополнительных рулей, поворотных насадок на винты, подруливающих устройств и т.д.

Однако при порывах ветра порожние суда теряют управляемость не только при шлюзовании, но и на каналах и водохранилищах, что приводило к крупным авариям.

С целью повышения управляемости судов и составов и разработки мер по повышению безопасности судоходства под руководством д.т.н., профессора Рыжова Л.М. были проведены обширные натурные испытания управляемости различных судов (составов). На основе их результатов была определена необходимая мощность теплоходов – толкачей для составов различной грузоподъемности при различной силе ветра (Рис. 2).

Так, согласно табл. 3 при прогнозе скорости ветра 10 м/сек. возможны порывы ветра до 22.2 м/сек, что соответствует сильному шторму, а сила ветра при этом увеличивается в четыре раза. Такие порывы ветра и приводят к аварийным происшествиям с порожними составами. Результаты натурных испытаний (Рис. 2) свидетельствуют о том, потребная мощность толкача для обеспечения надежной управляемости для состава 15000 тонн даже при порывах ветра до 16 м/сек. увеличиться более чем в два раза. При скорости ветра 10 м/сек. потребная мощность толкача порядка 1500 л.с., а при скорости ветра 16 м/сек. – порядка 3000 л.с. Опыт эксплуатации таких порожних составов показывает, что при силе ветра 4–5 баллов такой состав теряет управляемость.

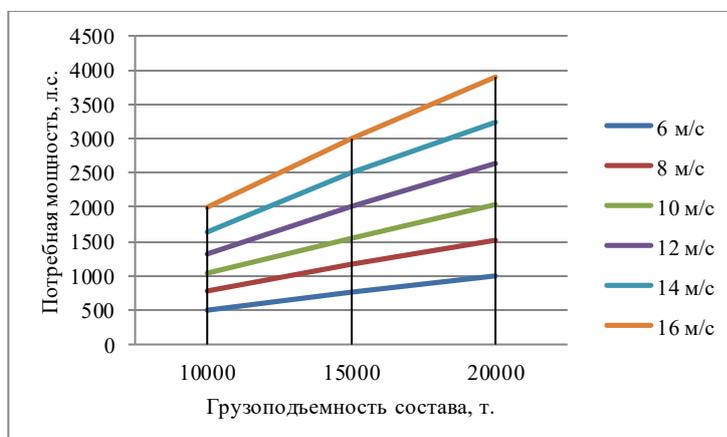


Рис. 2. Зависимость потребной мощности толкача от грузоподъемности состава для обеспечения надежной управляемости при различной силе ветра

Неслучайно составы грузоподъемностью 20000 тонн в порожнем состоянии в пароходстве «Волготанкер» с толкачом 2400 л.с. при ветре силой 4–5 баллов на участке р. Волга от Городца до Лыскова сопровождался теплоходом мощностью 600 л.с.

Неопределенность порывов ветра во времени предопределяет «наступление обстоятельств, которые невозможно преодолеть».

Так, 27 мая 2019 года диспетчерская служба ФГБУ «Канал имени Москвы» зафиксировала факт транспортного происшествия на Северном речном вокзале в городе Москве. При отправлении от причала №1 СРВ в круиз по маршруту Москва – Кострома теплоход «Александр Свирский» (ООО «Волгалайн») совершил соприкосновение с теплоходом «К.А. Тимирязев» (ИП Сизин), который отставался без пассажиров на причале №2 СРВ в ожидании отправления в Чебоксары. Как выяснила комиссия Ространснадзора и Государственного портового контроля, вахтенный начальник судна «Александр Свирский» не учел сильных порывов ветра. В момент случившегося на борту «Александра Свирского» находились 142 туриста и 43 члена экипажа, а на теплоходе «К.А. Тимирязев» была только команда в составе около 50 человек.

Теплоход «ОТ-817» (пароходство «Волготанкер») 05 мая 1972 года в верхнем бьефе Балаковской ГЭС вел методом толкания порожнюю нефтеналивную баржу «Тунгуска» в Астрахань для зачистки остатков сырой нефти 900 тонн и подготовки ее для транспортной работы. После прохождения Саратовского автодорожного моста двигался в направлении Увекского железнодорожного моста. Состояние погоды: ветер западный, северо-западный 4–5 баллов, видимость хорошая. Когда до Увекского железнодорожного моста оставалось менее 500 метров, первый штурман направил состав на створные огни пятого судоходного пролета и задал двигателям «полный вперед» не беря поправку на дрейф состава и не учитывая бортового ветра. При заходе носа баржи «Тунгуска» под пролет моста угол между мостом и составом составлял порядка 40°. Навал состава на устой моста был неизбежен. Под воздействием ветра и течения состав в 21:15 навалился на мостовой устой. На барже «Тунгуска» возник пожар, а затем и взрыв. В 400 метрах на правой кромке судового хода ниже моста баржа переломилась, ее носовая часть затонула, а кормовая часть была отбуксирована в безопасное место.

Недооценка порывов ветра может привести к весьма серьезным авариям не только при ограниченных габаритах судового хода, но и в водохранилищах.

Выводы

Основной причиной навалов и ударов порожних судов является не только их недостаточная управляемость при неблагоприятных погодных условиях в ограниченных габаритах пути. Одной из причин транспортных происшествий ГОСМОРРЕЧНАДЗОР называет «наступление обстоятельств, которые невозможно было предотвратить» не конкретизируя, что же это за обстоятельства. Очевидно, что к этому пункту, кроме всего прочего, отнесены и происшествия связанные, на наш взгляд, с неопределенностью из-за точности прогнозирования погодных условий.

Так, согласно Правилам плавания, эксплуатация судов класса «О» разрешается при ветре до 6 баллов, скорость которого может достигать 7,5–9,8 м/с, а при порывах ветра – 17,8 м/сек, при этом давление ветра увеличивается более чем в 4 раза. В такой ситуации порожние суда в ограниченных габаритах водных путей теряют управляемость.

Учитывая, что 50% всех аварийных происшествий происходит на гидроузлах [4], по нашему мнению, необходимо внести изменения и дополнения к порядку пропуска судов через гидроузлы при неблагоприятных погодных условиях для диспетчерского персонала с целью снижения аварийности и повышения надежности функционирования водного транспорта, совершенствовать средства управления судном, разработать соответствующие инструкции для судоводителей.

Список литературы:

1. Ваганов Г.И., Сазонов А.А. Об оптимальной мощности толкачей. Речной транспорт. – 1983. – с. 32–33.
2. Земляновский Д.К., Калинин А.И. Безопасность плавания речных судов // М.: Транспорт. – 1992. – 143 с.
3. Князев Е. За безопасность плавания на Волге. //Речной транспорт. – 1976. – №11. – С. 44–45
4. Клементьев А.Н. Движение и маневрирование судов при прохождении судопропускных гидротехнических сооружений. //Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Н. Новгород. – 1998.
5. Кеслер А.А., Фунтикова Е.В. Особенности проектирования подруливающих устройств Н. Новгород, Издательство ФГОУ ВПО, ВГАВТ. – 2009. – 64 с.
6. Погосов С.Г. Безопасность плавания в портовых водах. Транспорт. – 1977. – 130 с.
7. Воронцов В. Проблемы и перспективы судоходства по внутренним водным путям. Речной транспорт. – 2008. – №2. – с. 40–47.
8. Булов А.А. Развитие перевозок и конкурентоспособности судов «река – море» плавания нового поколения / А. А. Булов, Д. Р. Воронцова // Журнал Университета водных коммуникаций. – 2012. – № 1. – С. 245а–251.
9. Лазарев А.Н. Классификационный анализ факторов конкурентоспособности сухогрузных судов смешанного «река – море» плавания / А.Н. Лазарев, С.С. Марченко // Логистика: современные тенденции развития: материалы XIV Междунар. научно.-практ. конф. 9, 10 апреля 2015 г. – СПб.: ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, 2015. – С. 214–217.
10. Минеев В.И. Обоснование эффективности комбинированных технологий перевозок грузов водным транспортом / Минеев В.И., Костров С.В.// Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2013. – № 1.
11. Кузьмичев И.К. Особенности определения потребности транспортного флота для грузовых перевозок в условиях неопределенности и глобализации / Г.В. Веселов, А.В. Новиков, В.Н. Захаров // Вестник / ВГАВТ. – 2018. – Вып. 57.
12. Кузьмичев И.К. Обновление речного флота в условиях дефицита инвестиций / Г.В. Веселов, В.И. Минеев, А.В. Новиков // Вестник / ВГАВТ. – 2018. – Вып. 61.
13. Radmilović Z. River-sea shipping – competitiveness of various transport technologies / Z. Radmilović, R. Zobenica, V. Maras // Journal of Transport Geography. – 2011. – Vol. 19. – Is. 6. – Pp. 1509–1516. DOI:10.1016/j.jtrangeo.2011.03.002.
14. Bau und Betrieb von Hafenanlagen sollen gesetzlich geregelt werden Schiff und Hafen. 2002.– №2.– с. 47–48.
15. Frachenspiegel für Trockengüter. Binnenschiffahrt. Zeitschrift für Binnenschiffahrt und Wasserstrassen. – 2001.– №5. – с. 42.
16. Küsten und Binnenschiffahrt leiden unter Ladungsverlust DVZ: Dtsch. Logist-Ztg. – 2006. – № 98. – с. 9.
17. Froning Andreas. Tankschiff: Frachtraten schwanken immer mehr. Binnenschiffahrt. – 2006. – №6. – с. 43.
18. Carse A., Lewis J.A. Toward a political ecology of infrastructure standards: Or, how to think about ships, waterways, sediment, and communities together // Environment and Planning A: Economy and Space. 2017. Vol. 49. N. 1. Pp. 9-28. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0308518X16663015>.
19. Czaplewski K., Zwolan P. Constructing and editing virtual models of ships for navigational analyses // European Navigation Conference (ENC). IEEE, 2019. Pp. 1-5. DOI: 10.1109/EURONAV.2019.8714136.
20. Farida R.W.D., Utama N.J. Modernization of Shipping and River Sailing Business in Palembang 1860–1930 // Advanced Science Letters. 2017. Vol. 23. N. 10. Pp. 9959-9961. URL: <https://doi.org/10.1166/asl.2017.10353>.
21. Market F. Structured Finance in Shipping // The International Handbook of Shipping Finance: Theory and Practice. 2016. Pp. 191–193. URL: https://www.google.com/books?hl=ru&lr=&id=JOx6DQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA190&dq=fleet+modernization+in+minimum+funding&ots=qr_YbIIGMb&sig=PS_dNuVuRF_2eccwUoK42ikDjbe.
22. Shao Z., Chambliss S., Bandivadekar A. India Heavy-Duty Fleet Modernization Program—A Scrapage Program Combined with Accelerated Adoption of Bharat Stage VI Emission Standards // International Council on Clean Transport (ICCT) White Paper, Berlin. 2016. URL: http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_HDV-fleet-renewal-India_20160610_vF.pdf

THE PROBLEM OF SAFETY AND RELIABILITY OF THE EXPORT-IMPORT TRAFFIC ORGANIZATION IN THE NORTH-SOUTH-NORTH CORRIDOR

Gennady V. Veselov,

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Igor K. Kuzmichev,

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Valery I. Mineev,

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Alexey V. Novikov,

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The relevance of the questions raised in the article is obvious, since according to expert estimates, the capacity of the North-South-North water corridor is about 7-8 tons of cargo. Individual issues of this problem have been reflected in various publications at different times, but the importance of the issues discussed in the article is not currently reduced. Moreover, the data from statistical reports indicate that despite the decrease in the intensity of navigation and the replenishment of the fleet with more modern vessels, the number of transport accidents, especially strikes, increased 4 times in 2018 compared to 2008. The article analyzes the dynamics of the issue under study, identifies the main causes of transport accidents, and provides recommendations for the procedure for passing ships through waterworks facilities in adverse weather conditions.

Keywords: indicators of accidents in transport, the intensity of navigation, transport accidents, navigation rules, ship handling, wind gusts, optimal pusher power, ships admission order, export-import cargo transportation.

References:

1. Vaganov G.I., Sazonov A.A. Ob optimalnoj moshchnosti tolkachej (About optimal power of pushers) *Rechnoj transport* (1983): 32-33.
2. Zemlyanovskij D.K., Kalinin A.I. «Bezopasnost plavaniya rechnyh sudov» (Safety of navigation of river vessels) M.: Transport, 1992. 143 p.
3. Knyazev E. «Za bezopasnost plavaniya na Volge» (For safety of navigation on the Volga) *Rechnoj transport* 11 (1976): 44-45
4. Klementev A.N. Dvizhenie i manevrirovanie sudov pri prohozhdenii sudopropusknyh gidrotekhnicheskikh sooruzhenij (Movement and maneuvering of vessels during the passage of ship-passing hydraulic structures) *Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk*. N. Novgorod, 1998.
5. Kesler A.A., Funtikova E.V. Osobennosti proektirovaniya podrulivayushchih ustrojstv (Peculiarities of design of steering devices) N. Novgorod: Izdatelstvo FGOU VPO VGAVT, 2009. 64 p.
6. Pogosov S.G. Bezopasnost plavaniya v portovyh vodah (Safety of navigation in port waters) M.: Transport, 1977. 130 p.
7. Voroncov V. Problemy i perspektivy sudohodstva po vnutrennim vodnym putyam (Problems and prospects for inland waterways navigation) *Rechnoj transport* 2 (2008): 40-47.
8. Bulov A.A., Voroncova D.R. Razvitie perevozok i konkurentosposobnosti sudov «reka – more» plavaniya novogo pokoleniya (Development of transport and competitiveness of river-sea vessels of navigation of the new generation) *Zhurnal Universiteta vodnyh kommunikacij* 1 (2012): 245–251.
9. Lazarev A.N., Marchenko S.S. Klassifikacionnyj analiz faktorov konkurentosposobnosti suhogruzyh sudov smeshannogo «reka – more» plavaniya (Classification Analysis of Factors of Competitiveness of Dry Cargo Vessels of Mixed River-Sea Navigation) *Logistika: sovremennye tendencii razvitiya: materialy XIV Mezhdunar. nauchno. -prakt. konf SPb.: GUMRF imeni admirala S.O. Makarova*, 2015. pp. 214–217.
10. Mineev V.I., Kostrov S.V. Obosnovanie effektivnosti kombinirovannyh tekhnologij perevozok gruzov vodnym transportom (Justification of Efficiency of Combined Technologies of Cargo Transportation by Water Transport) *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dalnego Vostoka* 1 (2013).

11. Kuzmichev I.K., Veselov G.V., Novikov A.V., Zaharov V.N. Osobennosti opredeleniya potrebnosti transportnogo flota dlya gruzovykh perevozk v usloviyakh neopredelennosti i globalizatsii (Peculiarities of Determination of Transport Fleet Requirements for Freight Transport in Conditions of Uncertainty and Globalization) Vestnik VGAVT 57 (2018).
12. Kuzmichev I.K., Veselov G.V., Mineev V.I., Novikov A.V. Obnovlenie rechnogo flota v usloviyakh defitsita investitsij (Renewal of the river fleet in conditions of lack of investments) Vestnik VGAVT 61 (2018).
13. Radmilović Z., Zobenica R., Maraš V. River-sea shipping – competitiveness of various transport technologies Journal of Transport Geography 19 (2011): pp. 1509–1516. DOI:10.1016/j.jtrangeo.2011.03.002.
14. Bau und Betrieb von Hafenanlagen sollen gützlich geregelt werden Schiff und Hafen. 2 (2002): p. 47–48.
15. Frachtspiegel für Trockengüter. Binnenschifffahrt. Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstrassen 5 (2001): p. 42.
16. Küsten und Binnenschiffe leiden unter Ladungsverlust DVZ: Dtsch. Logist-Ztg 98 (2006): p. 9.
17. Froning Andreas. Tankschiffe: Frachtraten schwanken immer mehr Binnenschifffahrt 6 (2006): p. 43.
18. Carse A., Lewis J.A. Toward a political ecology of infrastructure standards: Or, how to think about ships, waterways, sediment, and communities together Environment and Planning A: Economy and Space 49.1 (2017): pp. 9–28. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0308518X16663015>.
19. Czaplowski K., Zwolan P. Constructing and editing virtual models of ships for navigational analyses European Navigation Conference (ENC). IEEE (2019). pp. 1–5. DOI: 10.1109/euronav.2019.8714136.
20. Farida R. W. D., Utama N. J. «Modernization of Shipping and River Sailing Business in Palembang 1860–1930» Advanced Science Letters 23.10 (2017): pp. 9959–9961. URL: <https://doi.org/10.1166/asl.2017.10353>.
21. Market F. «Structured Finance in Shipping» The International Handbook of Shipping Finance: Theory and Practice (2016): pp. 191–193. URL: https://www.google.com/books?hl=ru&lr=&id=J0x6DQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA190&dq=fleet+modernization+in+minimum+funding&ots=qr_YbPiGMb&sig=PS_dNuVuRF_2eccwUoK42ikDjBE.
22. Shao Z., Chambliss S., Bandivadekar A. «India Heavy-Duty Fleet Modernization Program—A Scrapage Program Combined with Accelerated Adoption of Bharat Stage VI Emission Standards» International Council on Clean Transport (ICCT) White Paper Berlin, 2016. URL: http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_HDV-fleet-renewal-India_20160610_vF.pdf

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Веселов Геннадий Васильевич, д.э.н., профессор, профессор кафедры экономики и менеджмента, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: alex1959.nn@gmail.com

Кузьмичев Игорь Константинович, д.т.н., профессор, профессор кафедры управления транспортом, ректор, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: rector@vgavt-nn.ru

Минеев Валерий Иванович, профессор, советник при ректорате, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: mineyev@vgavt-nn.ru

Новиков Алексей Васильевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры экономики и менеджмента, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),

Gennady V. Veselov, doctor of Economics, Professor of the Department of Economics and management, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Igor K. Kuzmichev, doctor of technical Sciences, Professor of the Department of transport management, rector, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Valery I. Mineev, Professor, adviser to the rector's office, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Alexey V. Novikov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Economics and Management, Volga State University of Water Transport,

Г.В. Веселов, И.К. Кузьмичев, В.И. Минеев, А.В. Новиков

Проблема безопасности и надежности организации экспортно-импортных перевозок в...

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951
e-mail: alex1959.nn@gmail.com

Статья поступила в редакцию 25.03.2020 г.

Раздел V

**Эксплуатация судового
энергетического оборудования**

Section V

Operation of ship power equipment



УДК 629.5.03:621.43.068-021.465
DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.88>

ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ОТ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ И КОЛИЧЕСТВА СОСТАВА КАТАЛИТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Н.Н. Горлова

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунов»,
г. Барнаул, Алтайский край, Россия*

Г.В. Медведев

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Алтайский край, Россия*

Аннотация: Значительное негативное влияние на составляющие окружающей среды (атмосферу и гидросферу) оказывает водный транспорт в результате использования «тяжелых» топлив и отсутствия эффективных систем очистки отработавших газов. Одним из технологически и экономически эффективным способом является очистка отработавших судовых энергетических установок с использованием каталитических нейтрализаторов. Обеспечение оптимальной степени очистки отработавших газов от соединений серы и азота обеспечивается за счет использования в системах очистки пористых проницаемых СВС-каталитических материалов. В результате проведенных исследований был определен оптимальный количественный состав каталитического материала, позволяющий обеспечить максимальное снижение вредных веществ в отработавших газах судовых энергетических установок.

Ключевые слова: суда, энергетические установки, каталитическая нейтрализация, коррозионная стойкость.

Введение

Существенное негативное влияние на объекты окружающей среды оказывает транспорт за счет выбросов отработавших газов в атмосферу, сточных вод в водные объекты и др.

Разработка путей решения выявленных проблем основывается, прежде всего, на выявлении причины негативного воздействия.

Одной из актуальных проблем является особенность загрязнения водной среды ввиду быстрого распространения загрязнений на большие площади; большой инерцией реагирования на попадание в среду вредных веществ; высокой степенью накопления в живых организмах вредных веществ. Загрязнение водных объектов приводит к накоплению вредных веществ в составляющих морской биосреды. Попадая в качестве пищевых продуктов они оказывают отрицательное влияние на здоровье человека.

Существенный вклад в загрязнение водных объектов и, как следствие, прибрежных зон вносят суда, а именно – выбросы вредных веществ в атмосферу в результате сжигания дизельного топлива судовыми дизелями.

Ухудшающаяся экологическая ситуация заставляет по-новому относиться к существующим судовым энергетическим установкам (СЭУ) и перспективам их развития. Постепенно меняется влияние применения высокосернистых сортов топлива, поскольку наличие серы в отработавших газах сопоставимо содержанию ее в топливе [1, 2].

По своей сути судно представляет, в определенной степени, опасность для компонентов окружающей среды, вне зависимости от того, движется ли оно или простаивает.

Снижение нагрузки на окружающую среду возможно за счет сокращения количества эксплуатируемых судов, что в условиях современной экономики не представляется возможным. При сохранении существующего объема транспортных работ это осуществимо только при условии повышения производительности судов и их провозной способности. Однако это не позволит снизить отрицательное воздействие на атмосферу.

Негативное влияние на экологию в мире продолжает ухудшаться, что способствует поиску современной оценки направлений, новых перспектив в развитии СЭУ и выбора оптимальных режимов их эксплуатации [3].

Несмотря на то, что СЭУ морских судов не относятся к лидерам по воздействию на окружающую среду, стоит брать их во внимание ввиду того, что концентрация судов на ограниченных территориях шельфовых зон, бывает значительной. Так, в результате сгорания 1 тонны топлива происходит выброс в атмосферу примерно 60 кг NO_x, 8 кг CO, до 6 кг SO_x, 3 кг C_xH_y, а также твердых частиц.

В результате эксплуатации судовых дизелей происходит, прежде всего, загрязнение отработавшими газами атмосферы [4], откуда вредные вещества попадают с осадками в водоемы и почву.

Оксиды углерода и углеводороды в газообразном состоянии тяжелее воздуха и скапливаются на поверхности водного объекта. Оксиды углерода активно участвуют в окислительных реакциях с превращением в диоксид углерода, большая концентрация которого в атмосфере вызывает «парниковый эффект».

Образующиеся в результате сгорания дизельного топлива твердые частички сажи разных размеров могут долгое время находиться во взвешенном состоянии над поверхностью воды. Обладая высокой адсорбционной способностью, сажа может накапливать на пористой поверхности твердой частички газообразные и жидкие токсичные вещества (бенз(а)пирен, альдегиды, формальдегиды и др.). В связи с этим практически все токсичные вещества транспортируются по прилегающей к судну акватории. В результате намочения и под действием сил тяжести частицы сажи выпадают с осадками как в водный объект, так и на сушу, осуществляя тем самым негативное воздействие на всех живых представителей окружающей среды.

Оксиды азота образуются в результате сжигания дизельного топлива в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания в результате взаимодействия с кислородом. При взаимодействии оксидов азота с парами воды образуются капельки азотной кислоты. В результате фотохимических реакций с углеводородами оксиды азота образуют смог.

В результате сжигания высокосернистого топлива, на долю которого приходится около 60% от всего количества топлива, в атмосферу попадает значительное количество диоксида серы. Под воздействием кислорода, на твердые частицы металлов, в присутствии паров воды и солнечного света SO₂ окисляется до SO₃. Опасность SO₃ заключается в том, что при взаимодействии с парами воды образуется серная кислота.

Попадая в атмосферу, образуются серные и азотные кислоты. Их осадки могут выпадать как в виде кислотных дождей, так и с частицами пыли, т.е. без содержания воды. Сохранение объемов кислотных осадков приведет к возрастающему ущербу для человечества такому, как к потере водоемов, лесов, а также последствия усиления эрозии почвы.

По результатам сложившейся экологической ситуации в ходе эксплуатации судовых дизелей можно говорить о целесообразности принятия радикальных мер по снижению негативной нагрузки на компоненты окружающей среды [5–9].

Материалы и методы

К настоящему времени сформирован и продолжает ужесточаться международно-правовой режим защиты и сохранения морской среды. Принятая в 1973 г. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения морей с судов (модифицированная

Протоколом 1978 года – МАРПОЛ 73/78) на сегодняшний день является одной из основных международных договоров по предотвращению загрязнения моря [3].

Принимаемые меры направлены на снижение влияния выбросов с судов как при эксплуатации, так и в непредвиденных ситуациях.

Повышенный интерес международного сообщества и представителей бизнеса к использованию и освоению морского пространства заставляет серьезно задуматься о перспективах состояния окружающей среды вследствие воздействия осуществляемых видов деятельности: рыболовство, разведка, добыча и перевозка сырья, интенсивное судостроительство и др.

В связи с этим продолжает развиваться международный правовой режим защиты и сохранения окружающей среды.

В рамках осуществляемой правовой деятельности на международном уровне устанавливаются ограничения по выбросам оксидов азота и содержанию серы в используемом топливе.

Высокая влажность, приводящая к образованию серной и азотной кислот, активизирует процесс коррозии системы очистки отработавших газов. Следствием этого является снижение каталитической активности материала нейтрализатора вплоть до полной его дезактивации. Одним из эффективных направлений решения обозначенной проблемы является подбор каталитического материала [10–13], максимально устойчивого к коррозии [14].

Особенностью коррозионных процессов системы каталитической очистки отработавших газов судовых дизелей является то, что практически одновременно происходит потеря массы каталитического материала в смеси кислот (серной и азотной) в результате воздействия горячего потока отработавшего газа (газотермическая коррозия) и при низких температурах во влажной кислой среде (низкотемпературная коррозия) [15].

Вышеобозначенные протекающие в условиях эксплуатации судовых дизелей процессы коррозии в неодинаковой степени влияют на характеристики применяемых каталитических материалов и степень очистки отработавших газов от вредных веществ.

Фактор влияния степени процессов коррозии в пористых проницаемых каталитических материалах, получаемых с использованием самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), происходит через периодичность и интенсивность влияния самого процесса, отражающегося через потерю массы пористого каталитического материала, а также влияние процесса на физические характеристики, физико-механические и функциональные свойства пористых проницаемых СВС - каталитических материалов, с использованием взвешенных оценок.

Процесс окисления при низких температурах замедляется, но при этом происходит механическое разрушение внутреннего порового пространства пористого проницаемого материала. При прогреве системы отведения и очистки отработавших газов СЭУ с горячим потоком отработавших газов кристаллы воды тают и с потоком газа частички материала отрываются и уносятся в окружающую среду. В результате вышесказанного можно рассуждать об изменении диаметра пор, извилистости и пористости, что в свою очередь снижает степень очистки отработавших газов судовых дизелей от твердых частиц, соединений азота, серы, углерода.

Предварительно было определено, что наибольшее влияние оказывает газотермическая коррозия. Этот процесс имеет аккумулялирующее воздействие на материал. Он протекает при высоких температурах (порядка 700К) и движении потока отработавшего газа (со скоростью около 98 м³/час) в условиях влажной кислой среды.

С целью изучения процесса коррозии в системе каталитической очистки отработавших газов судовых дизелей был выбран пористый проницаемый СВС – каталитический материал на основе окалина стали, обладающий следующими преимуществами: доступность, экономичность, возможность обеспечения необходимых каталитических свойств.

Предварительные исследования были направлены на изучение основных характеристик и свойств исследуемого материала.

Результаты

Результаты проведенных исследований позволили определить наиболее приемлемые соотношения компонентов в шихте исследуемого материала, позволяющие обеспечить не только эффективное протекание каталитического процесса, но и получать материал с необходимыми физическими характеристиками, физико – механическими и функциональными свойствами.

С целью оценки степени влияния на пористые проницаемые СВС-каталитические материалы протекающих процессов коррозии в результате эксплуатации судовых дизелей, был проведен комплекс дополнительных исследований.

Степень воздействия в ходе комплексной эксплуатации и выявления факторов коррозионной стойкости пористого проницаемого СВС была оценена через компиляционный показатель (K_{ψ}).

В результате исследования было выявлено, что с изменением содержания основного компонента – окалины стали в пористом проницаемом СВС -каталитическом материале ($C_{Fe_2O_3}$) в интервале 42,82...52,78 % по массе снижение концентрации твердых частиц (ТЧ) изменяется от 90 до 92%, при этом наблюдается увеличение коррозионной стойкости материала, о чем свидетельствует изменение комплексного показателя от 15,86 до 12,40% потери массы. Поскольку определяющим свойством исследуемого материала является снижение концентрации твердых частиц, оптимальным является состав материала с содержанием окалины стали 47,82 % по массе.

Результаты проведенных исследований показаны на Рис. 1.

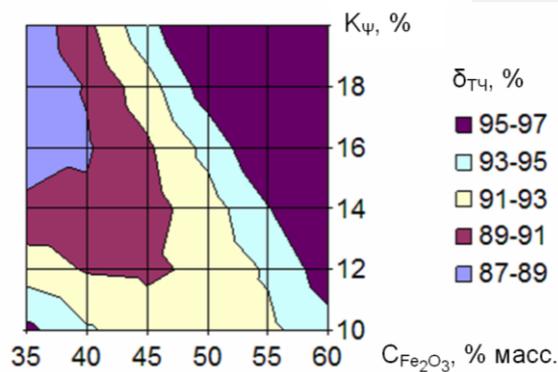


Рис. 1. Зависимость снижения концентрации твердых частиц ($\delta_{ТЧ}$) в отработавших газах от содержания окалины стали и коррозионной стойкости пористого проницаемого СВС – каталитического материала

Выявленные зависимости были описаны следующим выражением:

$$\delta_{ТЧ} = 207,707 - 3,006714 C_{Fe_2O_3} - 8,008295 K_{\psi} + 0,020057 C_{Fe_2O_3}^2 + 0,117383 K_{\psi}^2 + 0,105198 C_{Fe_2O_3} K_{\psi}, \% \quad (1)$$

Ранее в литературных источниках не были описаны зависимости, связывающие снижения концентрации твердых частиц в отработавших газах от содержания окалины

стали и коррозионной стойкости пористого проницаемого СВС. Полученные значения являются принципиально новыми.

Исследования по изучению влияния состава и комплекса СВС материала на основе окалины стали на снижение концентрации монооксида углерода (СО) позволили получить зависимость, приведенную на Рис. 2.

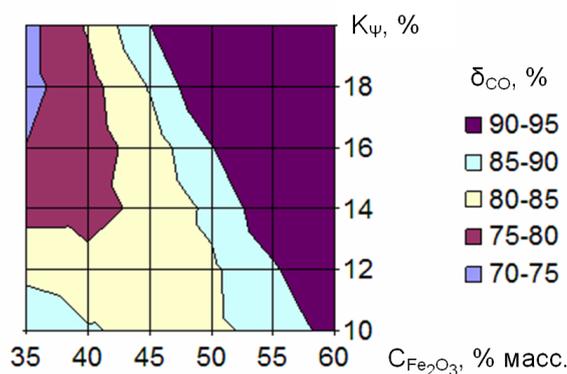


Рис. 2. Зависимость снижения концентрации монооксида углерода (δ_{CO}) в отработавших газах от содержания окалины стали и коррозионной стойкости пористого проницаемого СВС – каталитического материала

Выявленные зависимости были описаны следующим выражением:

$$\delta_{CO} = 327,272 - 6,826186 C_{Fe_2O_3} - 15,891621 K_\psi + 0,048436 C_{Fe_2O_3}^2 + 0,205754 K_\psi^2 + 0,230317 C_{Fe_2O_3} K_\psi, \quad \% \quad (2)$$

Также в научно-технической литературе не было описания зависимости снижения концентрации монооксида углерода в отработавших газах от содержания окалины стали и коррозионной стойкости пористого проницаемого СВС – каталитического материала, что является принципиально новым.

Максимальное снижение концентрации СО с обеспечением оптимальных свойств каталитического материала достигается при содержании окалины стали 52,78% по массе в интервале исследуемых составов. При этом наблюдается минимальная суммарная потеря массы исследуемого материала в результате процесса коррозии ($K_\psi=12,4\%$). Было выявлено, что увеличение содержания основного компонента приводит к уменьшению среднего приведенного диаметра пор, проницаемости по воздуху, пористости, удельной поверхности и увеличению извилистости, что отрицательно сказывается на механической прочности при сжатии и изгибе, ударной вязкости, т.е. делает изделие менее эксплуатационно пригодным.

С точки зрения эксплуатации судовых дизелей актуальным является вопрос снижения концентрации оксидов азота (NO_x) и серы (SO_x), выбрасываемых в окружающую среду с отработавшими газами. В связи с этим проводились работы по изучению влияния основных свойств пористого проницаемого СВС – каталитического материала на снижение концентрации NO_x и SO_x .

Поверхность соприкосновения пористого проницаемого СВС - каталитического материала с компонентами отработавшего газа судовых дизелей предопределяет скорость прохождения окислительно-восстановительных реакций, в результате которых снижается агрессивность веществ отработавших газов (соединений азота и серы).

Помимо общей агрессивности соединений азота и серы, они характеризуются способностью к активизации процесса коррозии в реальных условиях эксплуатации систем очистки отработавших газов судовых дизелей.

Проводимые исследования были направлены на определение соотношения компонентов шихты, обеспечивающих не только оптимальные эксплуатационные свойства пористого проницаемого СВС – каталитического материала, но и устойчивость каталитического материала к воздействию агрессивных факторов в условиях эксплуатации.

Результаты исследований в виде зависимости снижения концентрации NO_x и SO_x от содержания окалина стали и коррозионной стойкости исследуемого материала приведены на Рис. 3 и Рис. 4 соответственно.

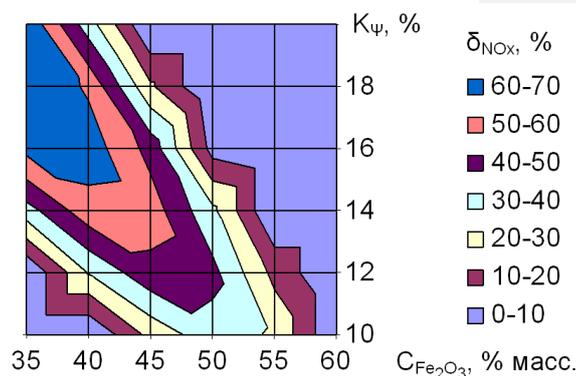


Рис. 3. Зависимость снижения концентрации оксидов азота (δ_{NO_x}) в отработавших газах от содержания окалина стали и коррозионной стойкости пористого проницаемого СВС -каталитического материала

Выявленные зависимости были описаны следующим выражением:

$$\delta_{\text{NO}_x} = \delta - 2236,183 + 61,194073 C_{\text{Fe}_2\text{O}_3} + 138,444500 K_\psi - 0,426670 C_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^2 - 2,063257 K_\psi^2 - 1,7973231 C_{\text{Fe}_2\text{O}_3} K_\psi, \% \quad (3)$$

Обсуждение

Ранее в научно-технической литературе не были описаны зависимости снижения концентрации NO_x в отработавших газах от содержания окалина стали и коррозионной стойкости пористого проницаемого СВС -каталитического материала. Исследования являются принципиально новыми.

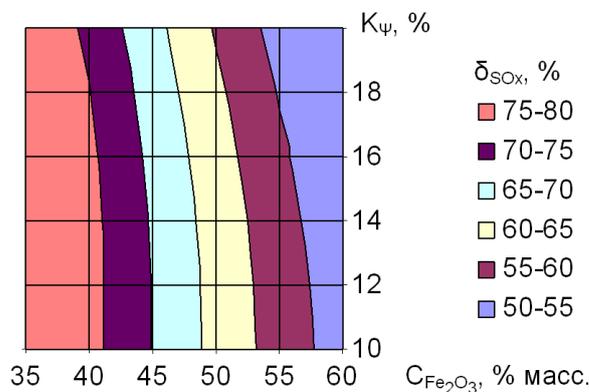


Рис. 4. Зависимость снижения концентрации оксидов серы ($\bar{\delta}_{SO_x}$) в отработавших газах от содержания окалины стали и коррозионной стойкости пористого проницаемого СВС-каталитического материала

Выявленные зависимости были описаны следующим выражением:

$$\bar{\delta}_{SO_x} = 134,042 - 1,956434 C_{Fe_2O_3} + 1,659344 K_\psi + 0,009221 C_{Fe_2O_3}^2 - 0,042106 K_\psi^2 - 0,016095 C_{Fe_2O_3} K_\psi, \% \quad (4)$$

Заключение, выводы

Ранее в научно-технической литературе не были описаны зависимости снижения концентрации вредных веществ в отработавших газах от содержания окалины стали и коррозионной стойкости пористого проницаемого СВС-каталитического материала и являются принципиально новыми.

Сложность проводимых исследований заключалась в том, что определиться одним составом шихты для получения пористого проницаемого СВС-каталитического материала, который обеспечит необходимые свойства и характеристики для системы очистки отработавших газов судовых дизелей, не представляется возможным ввиду особенностей протекания процесса СВС. В связи с этим рабочими интервалами принимаются:

- концентрации окалины стали в составе шихты пористого проницаемого СВС-каталитического материала: 42,84...52,78 % по масс. и соответствующие ему:
 - средний приведенный диаметр пор: 177...112 мкм;
 - извилистость пор: 1,12...1,35;
 - пористость: 0,47...0,29,
 обеспечивающие:
 - механическую прочность при сжатии: 13,8...6,7 МПа
 - механическую прочность при изгибе: 3,7...2,9 МПа
- потерю массу в следствии протекании процессов коррозии: 15,86...12,4%, что в комплексе обеспечивают следующие функциональные свойства:
 - снижение содержания твердых частиц – 90...92%;
 - снижение содержания СО – 80...85%;
 - снижение содержания NO_x – 56...28%;
 - снижение содержания SO_x – 72...60%.

При этом содержание окалины стали в количестве 47,82 % по массе позволяет обеспечить оптимальные свойства пористого проницаемого СВС-каталитического

материала и снижение концентрации твердых частиц в среднем на 91%, CO – 84%, NO_x – 50%, SO_x – 66%.

Полученный в результате проведенных исследований пористый проницаемый СВС-каталитический материал при его использовании в системе очистки отработавших газов судовых дизелей позволит обеспечить соблюдение международных норм и правил по выбросам вредных веществ в атмосферу.

Список литературы:

1. Живлюк Г.Е. Экологическая безопасность судовых ДВС. Выбор эффективного способа соответствия новым требованиям 2020 г. По выбросам серы / Г.Е. Живлюк, А.П. Петров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2019. – №4(56). – С. 727–744. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-727-744
2. Петров А.П. Экологическая безопасность. Ограничение выбросов серы судовыми энергетическими установками / А.П. Петров, Г.Е. Живлюк // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2019. – №1(53). – С. 130–145. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-130-145
3. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов = International Convention for Prevention of Pollution from Ships: VFHGJK/ Кн. III. – пересмотр. изд. - Санкт-Петербург: ЦНИИМФ, 2012. -336 с.
4. Jerzy Herdzik. Emissions from marine engines versus imo certification and requirements of Tier 3/ Journal ofKONES Powertrain and Transport, Vol. 18, No. 2, 2011. – p. 161–167.
5. C.F. Heuberger, I. Staffell, N. Shah and N. Mac Dowell, Energy Environ. Sci., 2016, 9, 2497–2510 RSC.
6. M. Bui, C.S. Adjiman, A. Bardow, E.J. Anthony, A. Boston, S. Brown, P.S. Fennell, S. Fuss, A. Galindo, L.A. Hackett, J.P. Hallett, H.J. Herzog, G. Jackson, J. Kemper, S. Krevor, G.C. Maitland, M. Matuszewski, I.S. Metcalfe, C. Petit, G. Puxty, J. Reimer, D.M. Reiner, E.S. Rubin, S.A. Scott, N. Shah, B. Smit, J. P. M. Trusler, P. Webley, J. Wilcox and N. Mac Dowell, Energy Environ. Sci., 2018, 11, 1062–1176 RSC.
7. P.J. Bonitatibus Jr., S. Chakraborty, M.D. Doherty, O. Siclovan, W.D. Jones and G.L. Soloveichik, Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., 2015, 112, 1687–1692 CrossRefPubMed.
8. M. Pena-Lopez, H. Neumann and M. Beller, ChemCatChem, 2015, 7, 865–871
9. E.A. Bielinski, M. Forster, Y. Zhang, W.H. Bernskoetter, N. Hazari and M. M. M. Catal., 2015, 5, 2404–2415 CrossRefCAS.
10. Kolomeets M. A. Porous SHS-materials based on iron oxide and aluminum with additions of alloying elements / M. A. Kolomeets, A. V. Maetskii, T. V. Novoselova [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. – 2017. – Vol. 58, № 3. – p. 293–298.
11. Porous Permeable SHS Cermets Based on Iron and Aluminum Oxides. T. V. Novoselova, L. V. Tolmacheva, Yu. G. Chernega, M. A. Kolomeets, A. V. Maetskii, N. P. Tubalov, O. V. Yakovleva., 2017, published in Vestnik Mashinostroeniya, 2017, No. 12, p. 64–69.
12. Shyan L. C., Chun H. L. Combustion Synthesis of Aluminum Nitride: a review // Key Eng. Mat. – 2012. – V. 521 – p. 101–111.
13. Untersuchung der Eigenschaften neuer Dieselpartikelfilter. Boger Thorsten, Rose Domenik, Cutler Willard A., Heibel Achim K., Tennent David L. (Coming GmbH, Wiesbaden). MTZ: Motorfeim. Z 2005, 66. № 9, p. 660–669.
14. Kamyshov Yu. N., Medvedev G. V., Gorlova N. N. Purification of marine diesel exhaust gases by means of porous permeable corrosion-resistant materials. Transactions of the Krylov State Research Center. 2019; Special Edition 2: 187–197
15. Горлова Н.Н. Обеспечение коррозионной стойкости пористых проницаемых каталитических СВС – материалов оптимальным составом и его заданными функциональными свойствами/ Н.Н. Горлова// Ползуновский альманах.– 2017.– № 3. – Т.1.– С. 134–137.

ASSESSMENT OF THE DEPENDENCE OF SHIP POWER PLANTS EXHAUST GASES PURIFICATION DEGREE ON CORROSION RESISTANCE AND THE AMOUNT OF THE CATALYTIC MATERIAL COMPOSITION

Nina N. Gorlova,

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Altai Territory, Russia

Gennady V. Medvedev,

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Altai Territory, Russia

Annotation. A significant negative impact on the environmental components (atmosphere and hydrosphere) is provided by water transport as a result of the use of "heavy" fuels and the lack of effective exhaust gas purification systems. One of the technologically and cost-effective is the cleaning of spent marine power plants using catalytic converters. An optimal degree of purification of exhaust gases from sulfur and nitrogen compounds is ensured by using catalytic materials in porous permeable SHS purification systems.

As a result of the studies, the optimal quantitative composition of the catalytic material was determined, which allows maximum reduction of harmful substances in the exhaust gases of marine power plants.

Keywords: *ships, power plants, catalytic neutralization, corrosion resistance*

References:

1. Zhivlyuk G.E. E'kologicheskaya bezopasnost' sudovy'x DVS. Vy'bor e'ffektivnogo sposoba sootvetstviya novy'm trebovaniyam 2020 g. PO VY' BROSAM SERY' / G.E. Zhivlyuk, A.P. Petrov // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. – 2019. – №4(56). – С. 727-744. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-727-744
2. Petrov A.P. E'kologicheskaya bezopasnost'. Ograniichenie vy'brosov sery' sudovy'mi e'nergeticheskimi ustanovkami / A.P. Petrov, G.E. Zhivlyuk // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. – 2019. – №1(53). – С. 130-145. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-130-145
3. Mezhdunarodnaya Konvenciya po predotvrashheniyu zagryazneniya s sudov = International Convention for Prevention of Pollution from Ships: VFHGJK/ Kn. III. – peresmotr. izd. – Sankt-Peterburg: CzNIMF, 2012. -336 s.
4. Jerzy Herdzik. Emissions from marine engines versus imo certification and requirements of Tier 3/ Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 18, No. 2, 2011. – p. 161–167.
5. C. F. Heuberger, I. Staffell, N. Shah and N. Mac Dowell, Energy Environ. Sci., 2016, 9, 2497–2510 RSC.
6. M. Bui, C.S. Adjiman, A. Bardow, E.J. Anthony, A. Boston, S. Brown, P.S. Fennell, S. Fuss, A. Galindo, L.A. Hackett, J.P. Hallett, H.J. Herzog, G. Jackson, J. Kemper, S. Krevor, G. C. Maitland, M. Matuszewski, I. S. Metcalfe, C. Petit, G. Puxty, J. Reimer, D. M. Reiner, E. S. Rubin, S.A. Scott, N. Shah, B. Smit, J. P. M. Trusler, P. Webley, J. Wilcox and N. Mac Dowell, Energy Environ. Sci., 2018, **11**, 1062–1176 RSC.
7. P.J. Bonitatibus Jr., S. Chakraborty, M.D. Doherty, O. Siclován, W. D. Jones and G. L. Soloveichik, Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., 2015, **112**, 1687–1692 CrossRefPubMed.
8. M. Pena-Lopez, H. Neumann and M. Beller, ChemCatChem, 2015, 7, 865–871 CrossRefCAS.
9. E.A. Bielinski, M. Forster, Y. Zhang, W.H. Bernskoetter, N. Hazari and M.C. Holthausen, ACS Catal., 2015, 5, 2404–2415 CrossRefCAS.
10. Kolomeets, M.A. Porous SHS-materials based on iron oxide and aluminum with additions of alloying elements / M.A. Kolomeets, A.V. Maetskii, T.V. Novoselova [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. – 2017. – Vol. 58, № 3. – p. 293–298.
11. Porous Permeable SHS Cermets Based on Iron and Aluminum Oxides. T.V. Novoselova, L.V. Tolmacheva, Yu.G. Chernega, M.A. Kolomeets, A.V. Maetskii, N.P. Tubalov, O.V. Yakovleva., 2017, published in Vestnik Mashinostroeniya, 2017, No. 12, p. 64–69.
12. Shyan? L.C., Chun H.L. Combustion Synthesis of Aluminum Nitride: a review // Key Eng. Mat. – 2012. – V. 521 – p. 101–111.
13. Untersuchung der Eigenschaften neuer Dieselpartikelfilter. Boger Thorsten, Rose Domenik, Cutler Willard A., Heibel Achim K., Tennent David L. (Corning GmbH, Wiesbaden). MTZ: Motorfeim. Z. 2005, 66. № 9, p. 660–669.
14. Kamyshov Yu.N., Medvedev G.V., Gorlova N.N. Purification of marine diesel exhaust gases by means of porous permeable corrosion-resistant materials. Transactions of the Krylov State Research Center. 2019; Special Edition 2: 187–197

Код поля изменен

Код поля изменен

Код поля изменен

Н.Н. Горлова, Г.В. Медведев

Оценка зависимости степени очистки отработавших газов судовых энергетических ...

15. Gorlova, N.N. Obespechenie korrozionnoj stojkosti poristy'x proniczaemy'x kataliticheskix SVS – materialov optimal'ny'm sostavom i ego zadanny'mi funkcional'ny'mi svoystvami/ N.N. Gorlova/ Polzunovskij al'manax.– 2017.– № 3. – Т.1.– S. 134–137.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Горлова Нина Николаевна, доцент, к.т.н., доцент, кафедра Менеджмента Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (ФГБОУ ВО «АлтГТУ») 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
e-mail: Gnn.09@mail.ru

Медведев Геннадий Валериевич, доцент, к.т.н., кафедра Наземных транспортно-технологических систем, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (ФГБОУ ВО «АлтГТУ») 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
e-mail: Genatswaly@mail.ru

Nina N. Gorlova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor Department of ground transportation and technological systems
Polzunov Altai State Technical University
46, Lenin Av., Barnaul, Altai Territory, Russia, 656038

Gennady V. Medvedev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor Department of ground transportation and technological systems
Polzunov Altai State Technical University
46, Lenin Av., Barnaul, Altai Territory, 656038, Russia,

Статья поступила в редакцию 25.12.2019 г.

УДК 629.5.03-8

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi63.89>

ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭНЕРГОУСТАНОВОК И ПУТИ ЕГО ПРЕОДОЛЕНИЯ

Н.К. Федоровская

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

Аннотация. Рассмотрены вопросы воздействия систем охлаждения судовых энергетических установок на рыбные ресурсы морей и континентальных водоемов. Широко распространенные разомкнутые системы охлаждения потребляют заборную воду. Прменяемые фильтры не способны задержать планктон и рыбную молодь. В результате при прохождении через систему они практически полностью погибают. Вследствие этого разрушаются пищевые цепочки и снижаются рыбные ресурсы морей. Приведены численные оценки наносимого ущерба. Показано, что проблема может быть решена за счет внедрения замкнутых систем охлаждения. Разработаны необходимые методы повышения теплоотвода систем. В результате создается возможность существенно снизить массу и габариты систем, что способствует их внедрению в практику.

Ключевые слова: система охлаждения, судно, энергетическая установка, планктон, антропогенное воздействие

Введение

Актуальность вопросов снижения отрицательного антропогенного воздействия промышленных объектов постоянно возрастает. В соответствии со статьей 105 Водного кодекса РФ [1] при проектировании и эксплуатации хозяйственных объектов, связанных с использованием воды, должно учитываться их влияние на состояние водных объектов и окружающую среду. В соответствии с *Федеральными законами: «О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации»* [2]; *«О континентальном шельфе Российской Федерации»* [3] и *«Об исключительной экономической зоне Российской Федерации»* [4] разнообразные морские объекты (суда, морские платформы и т.д.) подвергаются экологической экспертизе федерального уровня.

Экологический аспект также отражен в Международном кодексе по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращением загрязнения (МКУБ) [5], который введен действие в виде девятой главы в Международную Конвенцию СОЛАС (SOLAS-74) [6].

На рисунке 1 показаны основные виды отрицательного антропогенного воздействия судна. При этом воздействие условно разделено на две группы: загрязняющее (нефтью, мусором и т.д.) и потребляющее (воду из акватории и воздух). В международной конвенции МАРПОЛ 73/78 вводятся жесткие ограничения в отношении загрязняющего воздействия судов. Однако потребляющему отрицательному антропогенному воздействию пока не уделяется должного внимания.

В практике широко используются разомкнутые системы охлаждения судовой энергетической установки (ЭУ), предусматривающие потребление забортной воды, которое зависит в первую очередь от типа и мощности ЭУ. В настоящее время наибольшее распространение получили дизельные установки. В таблице 1 приведены примеры потребления забортной охлаждающей воды различными морскими платформами и судами.

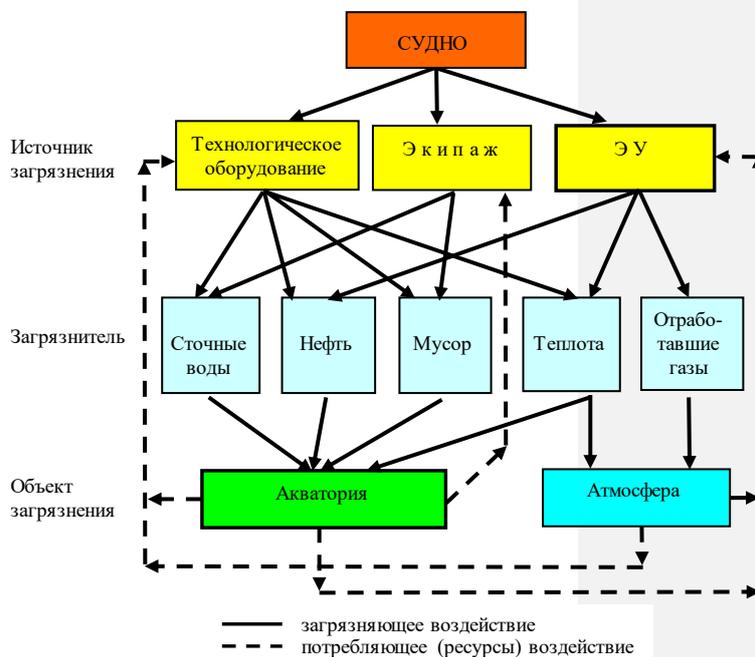


Рис. 1. Схема отрицательного антропогенного воздействия энергоустановки судна на окружающую среду

Таблица 1

Примеры потребления морской воды системами охлаждения

Объект	Потребление забортной воды, м ³ /час
Морская ледостойкая платформа ЛСП-1	1600...2400
Полупогружная морская буровая платформа (проект 10170)	400...800
Рефрижераторное судно «Zenit»	460
Многоцелевое судно «Амке»	160

Методы

При выполнении работы были использованы теоретические методы, включая анализ известных сведений, систематизацию и обобщение полученного материала и, на основе этого, синтез возможного решения проблемы снижения отрицательного антропогенного воздействия систем охлаждения судовых энергоустановок.

Результаты. Известно, что максимальная концентрация планктона (55...90%) наблюдается на глубинах до 50 м. Судовые системы охлаждения, как правило, принимают забортную охлаждающую воду с глубин 10...20 м. Насосы, обеспечивающие работу системы охлаждения, прокачивают воду через многочисленные элементы системы (фильтры, теплообменные аппараты и т.д.). Тип и тонкость очистки фильтров забортной воды представлены в таблице 2 [7-9].

Практика эксплуатации [23, 24] показала, что при размерах отверстий сетчатого фильтра менее 1 мм резко возрастает скорость его засорения, в том числе планктоном, что грозит нарушением работы системы охлаждения.

Таблица 2

Характеристика фильтров забортной воды

Тип	Тонкость очистки, мм	Ду, мм	Источник
Фланцевые сетчатые одинарные однопарные	0,3...2,5	40...350	[7]
Фланцевые щелевые пластинчатые	2	80...200	
Фланцевые проходные сетчатые	0,3...4,55	40...350	[8]
	5	25...600	[9]

В большинстве случаев размер планктона измеряется микронами, а размер икринок достигает 1...2 мм. Размер выплупенных из икринок личинок несколько превышает размер самой икринки [10]. За неделю длина личинки может увеличиться в два раза, но ее толщина при этом все еще остается соизмеримой с размером проходного отверстия сетки фильтра. Требуется примерно один месяц, чтобы личинки начали интенсивно двигаться и имели возможность хотя бы частично противодействовать силе всасывания охлаждающей воды системы охлаждения. Обычно, скорость воды на всасывании составляет 0,1...0,2 м/с. Оказавшись в системе, указанные организмы проходят через насос, теплообменники, арматуру и т.д., где подвергаются тепловому и механическому воздействию. Как следствие, значительная часть из них погибает сразу, либо получает существенные повреждения [11, 12], вследствие чего в дальнейшем обычно так же происходит их гибель.

Специалисты, занимающиеся проектированием систем охлаждения судовых ЭУ, не учитывают в должной степени указанный механизм отрицательного антропогенного воздействия на биологические ресурсы морей и не делают соответствующих экономических оценок ущерба. В то же время, специалисты, занимающиеся разработкой систем охлаждения тепловых электростанций, уделяют этому значительно большее внимание и проводят соответствующие исследования. Так, например, для расположенной на берегу Балтийского моря Калининской станции [13] в результате проведенных исследований определено, что в результате работы системы охлаждения энергетической установки уничтожается 70...90% зоопланктона, а в некоторых случаях – 100%.

В этой связи следует упомянуть о критической ситуации, имевшей место в 80–90-х годах в Черном и Азовском морях. В эти моря морскими судами был занесен гребневик мнемнопсис (*Mnemiopsis leidyi*) (Рис. 2). Обычным местом его обитания являются воды у побережья Северной Америки. Мнемнопсис имеет способность размножаться с огромной скоростью, практически удваивая свою суммарную массу в течение двух-трех суток.

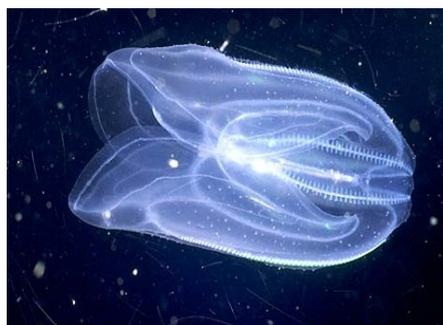


Рис. 2. Мнемнопсис (*Mnemiopsis leidyi*)

Пищей для мнемипсиса является планктон и икринки. Это привело к тому, что количество планктона и икринок резко сократилось (Рис. 3), что неизбежно привело к снижению рыбной продуктивности указанных морей. В [14] приведены сведения о том, что годовая добыча ставриды снизилась со 110...115 тыс. тонн до 3 тыс. тонн, а в Азовском море имеющиеся запасы тюльки снизились примерно в 400 раз. Ситуация изменилась вследствие появления в Черном море нового организма – гребневик берое (*Beroeovata*), для которого мнемипсис являлся пищей. Это привело к восстановлению рыбных ресурсов этих морей.

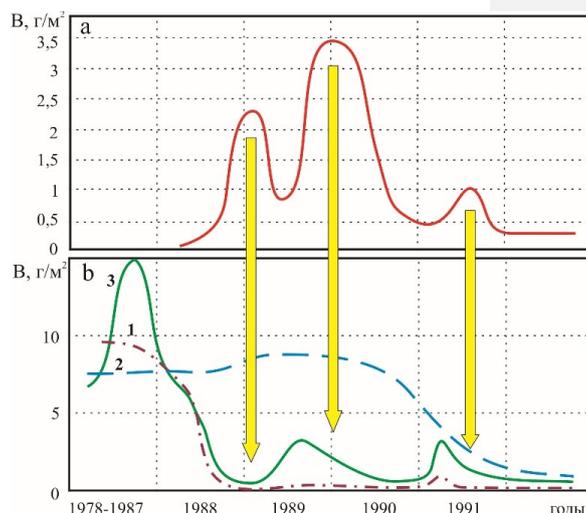


Рис. 3. Биомасса *Mnemiopsisleidyi* (а) и планктона (б) [14]:
1 – саггиты; 2 – веслоногий рачок; 3 – мелкие рачки и личинки донных животных

По результатам проведенных исследований на тепловой электростанции «Sizewell» (Великобритания) [15], использующей морскую воду для обеспечения работы системы охлаждения, определено, что уничтожается примерно $2 \cdot 10^{10}$ икринок рыб и $4,9 \cdot 10^7$ мальков рыб.

Гибель планктона неизбежно приводит к соответствующему падению рыбной продуктивности. В работах [16] и [17] четко показано, что уничтожаются не только миллиарды рыб, но и происходит биодеградация экосистем морей и континентальных водоемов. Так по данным [13] рыбная продуктивность моря в районе расположения Калининской электростанции снизилась практически в три раза.

При создании морской платформы типа «Шельф» с суммарной установленной мощностью ЭУ 5000 кВт специалисты ЦКБ «Коралл» и федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевской» РАН выполнили оценку ущерба рыбным запасам. В результате определено, что в силу отмеченных механизмов отрицательного воздействия систем охлаждения на водные организмы, в конечном счете, за год уничтожается примерно 200 т промысловых рыб.

Определенные шаги к исправлению ситуации принимаются. В частности, Государственная экологическая экспертиза РФ указывает на необходимость комплектации оборудования водозаборов рыбозащитными устройствами (РЗУ). Пока такой шаг сделан только в отношении морских буровых платформ. При этом существует довольно много сложностей (надежность, техническое обслуживание, ремонт и т.д.) [27], требующих разработки и принятия новых технических решений. Тем не менее, практические шаги

в данном направлении делаются. Морская буровая платформа «Исполин» оснащена пятью РЗУ с конусной сеткой (Рис. 4). Морская платформа ЛСП-1 оснащена РЗУ жалюзийного типа с потокообразователем (рис. 5).



Рис. 4. Рыбозащитное устройство типа «конусная сетка» морской буровой установки «Исполин»



Рис. 5. Рыбозащитное устройство жалюзийного типа с потокообразователем морской платформы ЛСП-1

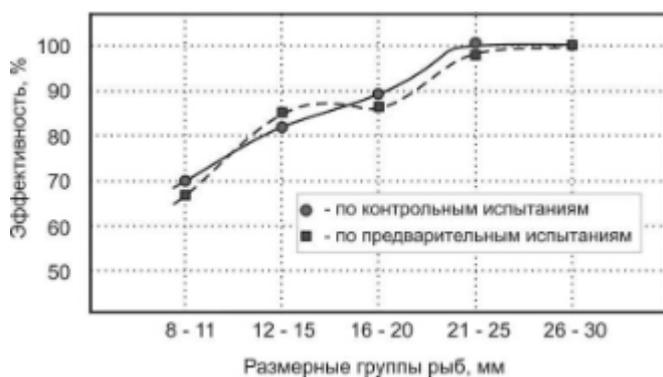


Рис. 6. Эффективность сетчатых рыбозащитных устройств [18]

Рыбозащитные устройства эффективно работают лишь для рыб размером более

8...15 мм. С учетом размера планктона и икринок данные устройства оказываются не эффективными.

С учетом роли планктона в пищевой цепочке следует говорить о том, что существующие РЗУ не решают задачи сохранения и приумножения рыбных ресурсов морей. Решение проблемы может быть найдено в широком внедрении в практику замкнутых систем охлаждения, на актуальность внедрения которых четко указывается в статье 105 Водного кодекса [1]. Для систем охлаждения ЭУ это означает, что следует отказаться от приема заборной охлаждающей воды.

Обсуждение

Практика судостроения знает примеры создания замкнутых систем охлаждения ЭУ. Однако при их создании определяющим обычно являлся лишь фактор обеспечения требуемой надежности функционирования энергетической установки при эксплуатации судна в загрязненной акватории.

В таких системах используется пресная вода, циркулирующая по замкнутому контуру [19, 20]. Эта вода, нагретая в охлаждаемом энергетическом оборудовании, поступает в специальные устройства теплоотвода в заборную воду. В качестве таковых обычно используются: судовая обшивка [21, 22], бокскулеры и другие размещенные на судовой обшивке конструкции [23–26]. Очень важно правильно выбрать конструкцию устройства теплоотвода и рассчитать требуемую площадь теплопередающей поверхности. Минимизация размеров этих устройств является условием их широкого внедрения в практику. По этой причине замкнутыми системами пока оборудуются суда со сравнительно небольшой энерговооруженностью, опыт эксплуатации которых подтвердил высокую надежность таких систем.

В настоящее время имеются апробированные методики расчета замкнутых систем охлаждения и их устройств теплоотвода, которые подтверждены результатами натуральных испытаний. Так, на рисунке 7 показаны значения коэффициентов теплопередачи, полученные расчетным путем и при испытании самоходного плавкрана проекта 15201 грузоподъемностью 500т. Отвод теплоты осуществлялся по замкнутому контуру через участок судовой обшивки, суммарной площадью 100 м².

Отметим, что основным расчетным режимом при разработке замкнутых систем является наиболее неблагоприятный случай, когда судно неподвижно. Для данных условий предложен и разработан достаточно простой метод интенсификации теплоотдачи – посредством создания газожидкостных струй [27]. Проведенными экспериментами подтверждено, что это позволяет в 10...12 раз повысить теплоотдачу в заборную воду и, тем самым, уменьшить габариты устройств теплоотвода и в целом замкнутых систем охлаждения. В результате обеспечивается возможность их более широкого внедрения в практику судостроения.

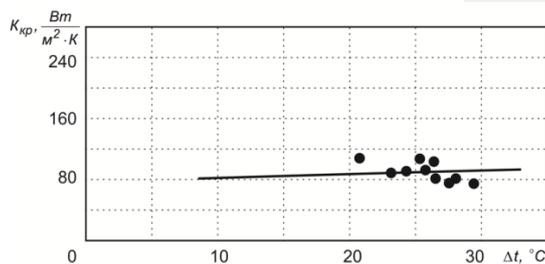


Рис. 7. Результаты натуральных испытаний устройства теплоотвода плавкрана проекта 15201: ● – натуральный эксперимент; линия – результаты расчета

Заключение

Таким образом, разомкнутые системы охлаждения наносят существенный экологический ущерб биологическим ресурсам морей и континентальных водоемов. Применение рыбозащитных устройств оказывается неэффективным по отношению к планктону и рыбной молоди, которые погибают при попадании в систему. Решение проблемы может быть достигнуто за счет более широкого внедрения в практику замкнутых систем охлаждения, положительный опыт создания и эксплуатации которых имеется.

Список литературы:

1. Водный кодекс Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9014361> (дата обращения: 17.02.2018 г.)
2. ФЗ-№155 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12112602> (дата обращения: 19.03.2018г.)
3. ФЗ-№187 «О континентальном шельфе РФ». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/1010868> (дата обращения: 20.03.2018 г.)
4. ФЗ-№191«Об исключительной экономической зоне РФ». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/179872>, (дата обращения: 21.03.2018 г.)
5. International Management for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention Web. 29 Nov. 2019 <https://ibicon.ru/f0-ism-ibicon-new-2015_0.pdf>
6. International Convention for the Safety of Life at Sea, Web. 30 Nov. 2019 <[http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)>
7. Судовые Фильтры: каталог-справочник – Санкт-Петербург -АО «Центр технологии судостроения и судоремонта» КБ «Армас» – 2019. – 86 с. [Электронный ресурс].
8. Фильтры забортной воды фланцевые проходные сетчатые [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sudpromservice.ru/fltry_1, (дата обращения 29.11.19)].
9. Фильтры забортной воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.inmor.su/12-003.htm> (дата обращения 29.11.19)]
10. Michael Durham. Salmoni. Web. 03 Apr. 2016 <<https://animalintheworld.wordpress.com/tag/salm-oni/>>
11. issues and environmental impacts associated with once-through cooling at california's coastal power plants california, energy commission, Staff Report, June 2005 CEC-700-2005-013]. Web 15 Jan. 2017 <<http://www.energy.ca.gov/2005publications/CEC-700-2005-013/CEC-700-2005-013.PDF>>
12. how power plants kill fish & damage our waterways. Web. 17 Jan. 2017 <<https://vault.sierraclub.org/.../2011-08-fish-blenders.pdf>>
13. Предварительные материалы по оценке воздействия на окружающую среду эксплуатации энергоблока 2 и 3 Калининской АЭС на мощности реакторной установки 104% от номинальной. – ООО «Гидротехпроект» Тверь, 2013 г. – 333 с.; Звягинцев А.Ю. Морские техноэкосистемы энергетических станций / А.Ю. Звягинцев, А.В. Мощенко. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 343 с.
14. Краткая историческая экология: регуляция численности популяций в биоценозах. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://helpiks.org/6-1866.html>, (дата обращения: 14.03.2018 г.)].
15. Martin R. Speight, Peter A. Henderson. Marine Ecology: Concepts and Applications. – Wiley-Blackwell, 2013, – 272 p.
16. Fleischli S., Hayat B., Power Plant Cooling and Associated Impacts: The Need to Modernize U.S. Power Plants and Protect Our Water Resources and Aquatic Ecosystems. Web. 15 Jan. 2017 <<https://pdfs.semanticscholar.org/0d37/6134c33fcdcdce4a8acd3e127161201a0d9.pdf>>
17. Звягинцев А.Ю. Морские техноэкосистемы энергетических станций / А.Ю. Звягинцев, А.В. Мощенко. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 343 с.
18. Ващинников А.Е. Новые направления в разработке сетчатых рыбозащитных устройств / А.Е. Ващинников, А.А. Васильев, К.В. Илюшин, В.Д. Шульгин // Материалы докладов 4-й Всерос. конф. с международным участием. – Борок: Акварос, 2010. – С. 9–13.
19. Федоровский К.Ю., Федоровская Н.К. Замкнутые системы охлаждения судовых энергетических установок. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 163 с.
20. Walter H., Keel Coolers, Web. 17 Jan. 2017 <<http://bluewater-trawlers.blogspot.com/2008/11/hull-construction.html>>.

Н.К. Федоровская

Отрицательное антропогенное воздействие систем охлаждения энергоустановок и пути ...

21. Walter H., Witt W., «Forschrte de ragger-und Schiffbautechnic beim Hopperbagger «Ludwig Franzius» der Wasser-und Schifffahrtsverwaltung, Schiff und Haen.» – 1965. – №17. – Pp. 595–610.
22. Bobotek J. «Wymianaciepla w chlodnicachposzyciowych» / J. Bobotek, Budownictwo Okretowe, – 1976. – Kwiecjen. – Pp. 122–124.
23. Specifying a Trawler Web 15 Jan. 2018 <<http://bluewater-trawlers.blogspot.com/2008/11/hull-construction.html>>
24. Specialty Gridcooler Keel Coolers, Web 15 Jan. 2018 <<http://www.frnstrum.com/products/grid-cooler-keel-cooler/specialty-coolers/>>
25. Duramax DuraCooler Patented Streamlined Header Design, Web 17 Feb. 2018 <<http://www.duramaxmarine.com/heat-duracooler.htm>>
26. DrydockingServices Web 23 June 2019 <<http://www.diversifiedmarineinc.com/Drydock.htm>>
27. Федоровский К.Ю., Исследование газожидкостной интенсификации теплоотвода в замкнутых системах охлаждения судовых энергоустановок / К.Ю. Федоровский, В.В. Ениватов // Сб. научн. Тр. ХДМА. – Херсон, 2012. – Вып. № 1(6). – С. 139–147.

NEGATIVE ANTHROPOGENIC INFLUENCE OF COOLING SYSTEMS OF POWER PLANTS AND WAYS OF ITS OVERCOMING

Nadezhda K. Fedorovskaya

Sevastopol State University (FGAOU VO «SevSU»), Sevastopol, Russia

Annotation. The issues of the impact of the cooling systems of ship power plants on the fish resources of the seas and continental reservoirs are considered. Widespread open cooling systems consume intake water. The filters used are not capable of trapping plankton and fish juveniles. As a result, when passing through the system, they die almost completely. Consequently food chains are destroyed and the fish resources of the seas are reduced. Numerical estimates of the damage are given. It is shown that the problem can be solved by introducing closed cooling systems. The necessary methods for increasing the heat sink of systems have been developed. As a result, it becomes possible to significantly reduce the weight and dimensions of the systems, which contributes to their implementation in practice.

Keywords: cooling system, vessel, power plant, plankton, anthropogenic impact

References:

1. Water Code of the Russian Federation. Web. 17 Dec. 2018 <<http://docs.cntd.ru/document/9014361>>
2. Federal Law -№155 «On inland waters, territorial sea and the adjacent zone of the Russian Federation» Web. 19 March. 2018 <<http://base.garant.ru/12112602>>
3. Federal Law No. 187 «On the Continental Shelf of the Russian Federation». Web. 20 March. 2018 <<http://base.garant.ru/10108686>>
4. Federal Law -№191 «On the exclusive economic zone of the Russian Federation». Web. 21 March. 2018 <<http://base.garant.ru/179872>>
5. International Management for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention (Edition 2015) https://ibicon.ru/f0-ism-ibicon-new-2015_0.pdf
6. International Convention for the Safety of Life at Sea, Web. 30 Nov. 2019 <[http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)>
7. «Ship Filters»: catalog-directory -St. Petersburg-JSC «Center for shipbuilding and ship repair technology», Design Bureau «Armas» – 2019. – 86с.
8. «Outboard water filters, flanged through passage mesh» Web. 29 Nov. 2019 <http://sudpromservice.ru/filtry_1>
9. «Seawater filters» Web. 29 Nov. 2019 <<http://www.inmor.su/12-003.htm>>
10. Michael Durham. Salmoni. Web. 4 Apr. 2016 «Electronic resource: <https://animalinelmondo.wordpress.com/tag/salmoni>»
11. Issues and environmental impacts associated with once-through cooling at California's coastal power plants California / Energy commission, Staff Report, June 2005 CEC-700-2005-013. Web. 15 Jan. 2017 <<http://www.energy.ca.gov/2005publications/CEC-700-2005-013/CEC-700-2005-013.PDF>>

12. How power plants kill fish & damage our waterways. Web. 17 Jan. 2017 <<https://vault.sierraclub.org/.../2011-08-fish-blenders.pdf>>
13. Preliminary materials on the environmental impact assessment of the operation of power units 2 and 3 of the Kalinin NPP at a reactor plant capacity of 104% of the nominal. – LLC «Gidrotekhproekt» Tver, 2013. – 333s.; Zvyagintsev A. Yu. Marine technoecosystems of power stations / A. Yu. Zvyagintsev, A. V. Moshchenko. – Vladivostok: Dalnauka, 2010. – 343 p.
14. Brief historical ecology: Regulation of the number of populations in biocenoses. Web. 13 March. 2018 <<http://helpiks.org/6-1866.html>>
15. Martin R. Speight, Peter A. Henderson. Marine Ecology: Concepts and Applications. – Wiley-Blackwell, 2013, – 272 p.
16. Steve Fleischli & Becky Hayat. Power Plant Cooling and Associated Impacts: The Need to Modernize U.S. Power Plants and Protect Our Water Resources and Aquatic Ecosystems. Web. 15 Jan. 2017 <<https://pdfs.semanticscholar.org/0d37/6134c33f7cdcdce4a8acd3e127161201a0d9.pdf>>
17. Zvyagintsev A. Yu. Marine technoecosystems of power stations / A. Yu. Zvyagintsev, A. V. Moshchenko. – Vladivostok: Dalnauka, 2010. – 343 p.
18. Vashchinnikov A. E. New directions in the development of mesh fish protection devices / A. E. Vashchinnikov, A. A. Vasiliev, K. V. Ilyushin, V. D. Shulgin // Materials of reports of the 4th All-Russian conf. with international participation. – Borok: Watercolor, 2010. – Pp. 9–13.
19. Fedorovsky K. Yu., Fedorovskaya N. K. Closed-circuit cooling systems for marine power plants. – M.: INFRA-M, 2017. – 163 p.
20. Walter H. Keel Coolers Web. <<http://bluewater-trawlers.blogspot.com/hull-construction.html>>.
21. Walter H. Fortschritte der Ragger- und Schiffbautechnik beim Hopperbagger «Ludwig Franzius» der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung / H. Walter, W. Witt // Schiff und Hafen. – 1965. – No. 17. – Pp. 595–610.
22. Bobotek J. Wymianaciepla w chlodniach poszyciowych / J. Bobotek // Budownictwo Okretowe. – 1976. – Kwiecien. – Pp. 122–124.
23. Specifying a Trawler [Digital resource] // Web. <<http://bluewater-trawlers.blogspot.com/2008/11/hull-construction.html>>.
24. Specialty Gridcooler Keel Coolers Web. 15 Jan. 2017 <<http://www.ernstrum.com/products/grid-cooler-keel-cooler/specialty-coolers/>>.
25. Duramax DuraCooler Patented Streamlined Header Design Web. 8 Nov. 2016 <<http://www.duramaxmarine.com/heat-duracooler.htm>>
26. Drydocking Services Web. 24 June. 2016 <<http://www.diversifiedmarineinc.com/Drydock.htm>>
27. Fedorovsky K. Yu., Enivatov V. V. Study of gas-liquid heat sink intensification in closed cooling systems of ship power plants. Sat scientific Tr. HDMA.: – Kherson, 2012.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Надежда Константиновна Федоровская, аспирант кафедры «Энергоустановки морских судов и сооружений», Севастопольский государственный университет» (ФГАОУ ВО «СевГУ»), Морской институт, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
e-mail: n.fedorovskaya14@mail.ru

Nadezhda K. Fedorovskaya, post-graduate student of the department «Power installations of marine vessels and structures», Sevastopol State University (FGAOU VO «SevSU»), Maritime Institute, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053

Статья поступила в редакцию 18.02.2020 г.

**Научные проблемы
водного транспорта**

Вестник ВГАВТ

**Выпуск 63
2020**

Формат бумаги 70x180 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 12,625. Уч.-изд. л. 17,675.
Заказ . Тираж 500.

Отпечатано в типографии издательско-полиграфического комплекса ВГУВТ
603951, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

Свободная цена

Подписной индекс в каталоге
Агентства "Книга-Сервис"
70191

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство ПИ № ФС77-77658 от 17 января 2020 г.

*Адрес редакции и издателя:
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, д.5*

*Управление научных исследований
и инновационной деятельности
© ВГУВТ, 30.06.2020*

Научные проблемы водного транспорта № 63 2020