



<http://journal.vsuwt.ru>  
DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt>

ISSN 2713-1858 (print)  
ISSN 2713-1866 (on-line)

# Научные проблемы водного транспорта

## №76 (3) 2023

Предыдущее название «Вестник ВГАВТ» (2002-2019 гг.)

Издание посвящено актуальным вопросам водного транспорта России и публикует новые научные разработки, результаты исследований, методы, методики и технологии по таким важным для отрасли направлениям как судостроение, судоремонт, экологическая безопасность судна, эксплуатация судового энергетического оборудования, гидротехническое строительство, эксплуатация водного транспорта, судовождение и безопасность судоходства, экономика, логистика и менеджмент на транспорте.

**Целью журнала** является создание научного пространства для распространения передовых знаний в области водного и других видов транспорта на территории России и за рубежом. Повышение авторитета национальных публикаций в мировом научном сообществе. Материалы выпуска рекомендуются научным сотрудникам, преподавателям высших учебных заведений, инженерам, аспирантам и студентам соответствующих специальностей.

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. Подписной индекс в объединённом каталоге "Пресса России": **70191**

Выпускается с **2002 года**, периодичность выпуска - **4 раза в год**, форма выпуска *печатный, сетевой, язык русский, английский.*

**Учредитель и издатель:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»).

**Адрес учредителя, издателя и редакции:** 603091, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, д.5, Тел. +8(831) 419-51-84

▪ **Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий**, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (**Перечень ВАК**) по следующим специальностям:

**2.5.17 Теория корабля и строительная механика**

**2.5.18 Проектирование и конструкция судов**

**2.5.19 Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства**

**2.5.20 Судовые энергетические установки и их элементы**

**2.9.7 Эксплуатация водного транспорта, водные пути, сообщения и гидрография**

**5.2.3 Региональная и отраслевая экономика**

▪ Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

- Полные тексты статей журнала размещены в российских научных электронных библиотеках CyberLeninka, elibrary.ru, ЭБС «Лань», а также публикуются на сайте журнала <http://journal.vsuwt.ru>.
- Журнал подключен к международной системе библиографических ссылок Crossref
- Журнал предоставляет открытый доступ к полным текстам публикаций на основе лицензии Creative Commons (CC BY 4.0) .



Статьи принимаются в журнал в электронном виде на e-mail: [journal@vsuwt.ru](mailto:journal@vsuwt.ru) ( или через сайт журнала <http://journal.vsuwt.ru>). Информация о порядке публикации и требованиях к оформлению статьи размещены на сайте журнала в разделе Авторам.

Редакция журнала осуществляет мониторинг корректного цитирования с помощью системы «Антиплагиат».

Редакция журнала осуществляет свою деятельность в соответствии с Положениями по соблюдению издательской этики, разработанными на основе международных стандартов:

1. положения, принятые на 2-ой Всемирной конференции по вопросам соблюдения добросовестности научных исследований (Сингапур, 22-24 июля 2010 г., <http://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/8102>);
2. положения, разработанные Комитетом по этике научных публикаций (The Committee on Publication Ethics – COPE, <http://publicationethics.org/resources/guidelines>);
3. нормы главы 70 «Авторское право» Гражданского кодекса Российской Федерации <http://www.gk-rf.ru/glava70>.

Все научные статьи, поступившие в редакцию журнала «Научные проблемы водного транспорта» проходят обязательное двустороннее анонимное («слепое») рецензирование, Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов. Мнение членов редколлегии и редакции может не совпадать с точкой зрения авторов публикации.

## **Редакция и Редколлегия**

### **Главный редактор**

Кузьмичев Игорь Константинович, д.т.н., профессор, ректор, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

### **Заместители главного редактора**

Бурмистров Евгений Геннадьевич, д.т.н., профессор, проректор по научной и инновационной деятельности, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

Митрошин Сергей Григорьевич, к.т.н., доцент, проректор по конвенционной подготовке и международной деятельности

### **Ответственный редактор**

Гордлеев Сергей Дмитриевич, начальник Управления по научной и инновационной деятельности, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

### **Ответственный секретарь**

Раева Ольга Александровна, начальник издательского отдела, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

### **Члены Редколлегии**

Безюков Олег Константинович, д.т.н., профессор, академик РАТ, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. С.-Петербург, Россия;

Белых Владимир Николаевич, д.т.н., профессор, академик РАТ, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. С.-Петербург, Россия;

Бик Юрий Игоревич, д.т.н., профессор, Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Россия;

Ваганов Александр Борисович, д.т.н., доцент, Институт транспортных систем Нижегородского государственного технического университета им.Р.Е.Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия;

Вычужанин Владимир Викторович, д.т.н., профессор, член-корреспондент Транспортной академии Украины, Одесский национальный морской университет, г. Одесса, Украина;

Гаврилов Александр Иванович, д.э.н., профессор, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, г. Москва, Россия;

Гирич Станислав Николаевич, к.т.н., профессор, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия;

Грамузов Евгений Михайлович, д.т.н., профессор, Институт транспортных систем Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия;

Домнина Ольга Леонидовна, к.т.н., доцент, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия;

Ермаков Станислав Александрович, д.ф.-м.н., профессор, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия;

Казаков Николай Николаевич, к.т.н., доцент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Беларусь;

Кириченко Александр Викторович, д.т.н., профессор, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова;

Корнилов Дмитрий Александрович, д.э.н., профессор, академик РАЕН, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия;

Королёв Юрий Юрьевич, к.э.н., доцент, Институт бизнеса и менеджмента технологий Белорусского государственного университета, г. Минск, Беларусь;

Королева Елена Арсентьевна, д.э.н., профессор, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. С.-Петербург, Россия;

Костров Владимир Николаевич, д.э.н., профессор, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия;

Лаврентьева Елена Александровна, д.э.н. профессор, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. С.-Петербург, Россия;

Лапаев Дмитрий Николаевич, д.э.н., профессор, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия

Липатов Игорь Викторович, д.т.н., профессор, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия;

Мареев Евгений Анатольевич, д.ф.-м.н., профессор, академик РАН, заместитель директора ИПФ РАН по научной работе, Нижний Новгород, Россия;

Матвеев Юрий Иванович, д.т.н., профессор, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия;

Метёлкин Павел Владимирович, д.э.н., профессор, Российский университет транспорта РУТ (МИИТ), институт экономики и финансов, г. Москва, Россия

Минеев Валерий Иванович, д.э.н., профессор, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия;

Никущенко Дмитрий Владимирович, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, г. С.-Петербург, Россия;

Ничипорук Андрей Олегович, д.т.н., доцент, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия;

Пластинин Андрей Евгеньевич, д.т.н., доцент, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия;

Решняк Валерий Иванович, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, г. С.-Петербург, Россия.

Роннов Евгений Павлович, д.т.н., профессор, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия;

Сафаров Айрат Муратович, д.т.н., Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

Сахно Константин Николаевич, д.т.н., профессор, Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия

Ситнов Александр Николаевич, д.т.н. профессор, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия;

Соловьев Алексей Валерьевич, д.т.н. заместитель директора, ФАУ Российский Речной Регистр, Верхне-Волжский филиал, г. Нижний Новгород, Россия;

Удалов Олег Федерович, д.э.н., профессор, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия;

Уметалиев Акылбек Сапарбекович, д.э.н., профессор, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, г. Бишкек, Киргизстан;

Уртминцев Юрий Николаевич, д.т.н. профессор, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия;

Цветков Юрий Николаевич, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, г. С.-Петербург, Россия.



<http://journal.vsuwt.ru>  
DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt>

ISSN 2713-1858 (print)  
ISSN 2713-1866 (on-line)

# Russian Journal of Water Transport №76 (3) 2023

The previous name «Bulletin of VSAWT» (2002-2019)

The journal is devoted to the topical issues of water transport in Russia and publishes scientific materials, research results, methods and technologies in such important areas for the industry as shipbuilding, ship repair, environmental safety of a ship, operation of ship power plants, hydraulic engineering, navigation, navigation safety, economics, logistics and transport management.

The purpose of the journal is the scientific area creation for dissemination of advanced knowledge in the field of water and other kinds of transport in Russia and abroad and for the increasing authority of national publications in global scientific community. The materials of the issue are recommended for researches, teachers of higher educational institutions, engineers, graduate students and students of the relevant specialties.

The journal is registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor) certificate PI No. FS77-77658 dated January 17, 2020. Subscription index in the united catalog "Press of Russia": 70191.

The journal has been published since 2002, **4 times a year**; the form of issue is *printed, networked*, language *Russian and English*

**Founder and publisher:** Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volga State University of Water Transport"

**Founder, publisher and editorial address:** 603091, Russian Federation, Nizhny Novgorod, st. Nesterova, 5, Tel. +8 (831) 419-51-84

▪ The journal is included in the List of peer-reviewed scientific publications, in which the main scientific results of dissertations for the degree of candidate of science, for the degree of doctor of sciences (List of Higher Attestation Commission) in the following specialties should be published:

- 2.5.17 Theory of the ship and structural mechanics
- 2.5.18 Ship design and construction
- 2.5.19 Technology of shipbuilding, ship repair and organization of shipbuilding production
- 2.5.20 Ship power plants and their elements
- 2.9.7 Operation of water transport, waterways, communications and hydrography
- 5.2.3 Regional and sectoral economy

▪ The journal is included in the system of the Russian Science Citation Index (RSCI)

- The full texts of the journal articles are posted in the Russian scientific electronic libraries CyberLeninka, elibrary.ru, EBS "Lan", and are also published on the journal's website <http://journal.vsuwt.ru/>
- The journal is connected to the international system of bibliographic references Crossref
- The journal provides open access to the full text of publications on a license basis Creative Commons (CC BY 4.0)



Articles are accepted in the journal in electronic form by e-mail: [journal@vsuwt.ru](mailto:journal@vsuwt.ru) (or through the magazine's website <http://journal.vsuwt.ru/>)

Information about the publication procedure and requirements for the article formatting is posted on the journal's website in the For Authors section. The editorial board of the journal monitors the correct citation using Antiplagiat system.

The editorial board of the journal carries out its activities in accordance with the Provisions on the observance of publishing ethics, developed on the basis of the international standards:

1. provisions adopted at the 2nd world conference on integrity of scientific studies (Singapore, July 22-24, 2010; <http://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/8102>);
2. provisions developed by the Committee on publication ethics (The Committee on Publication Ethics – COPE; <http://publicationethics.org/resources/guidelines>);
3. norms of Chapter 70 "Copyright" of the Civil code of the Russian Federation <http://www.gk-rf.ru/glava70>

All scientific articles submitted to the editorial office of the journal "Scientific Problems of Water Transport" are subject to mandatory bilateral anonymous ("blind") reviewing. All reviewers are recognized experts on the subject of the reviewed materials. The opinion of the members of the editorial board and editorial staff may not coincide with the authors point of view.

## Editorial Team

**Editor In chief:** Igor K. Kuzmichyov, Dr. Sci. (Tech.), professor, Volga state university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia

**Editor In chief deputy:** Evgeniy G. Burmistrov, Dr. Sci. (Tech.), professor, Volga state university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia

**Editor In chief deputy:** Sergey G. Mitroshin, Cand. Sci. (Tech.), Volga state university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia

**Contributing Editor:** Sergey D. Gordleev, Volga state university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia

**Executive Secretary:** Olga A. Raeva, Volga state university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia

## **Editorial board**

Oleg K. Bezyukov, Dr. Sci. (Tech), professor, academician of Russian Transport academy, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St.-Petersburg, Russia;

Vladimir N. Belikh, Dr.Sci. (Phys-Math.), professor, Volga state unuversity of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

Yuriy I. Bik, Dr. Sci. (Tech.), professor, Siberian state university of water transport, Novosibirsk, Russia;

Alexandr B. Vaganov, Dr. Sci. (Tech.), assistant professor, Institute of transportation system of NSTU, named after R.E. Alekseyev, Nizhny Novgorod, Russia;

Vladimir V. Vichyuzhanin, Dr. Sci. (Tech.), professor, corresponding member of Academy of transport of the Ukraine, Odessa National maritime university, Odessa, Ukraine;

Alexandr I. Gavrilov, Dr. Sci. (Econ.), professor, FSBEE H.Ed.» Russian academy of national economy and public service under the President of Russian Federation, Moscow, Russia;

Stanislav N. Guirin, Cand. Sci. (Tech.), Volga state unuversity of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

Evgeniy M. Gramuzov, Dr. Sci. (Tech.), professor, Institute of Transportation System NSTU, named after R.E. Alekseyev, Nizhny Novgorod, Russia;

Olga L. Domnina, Cand. Sci. (Tech.), assistant professor, Volga state university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

Stanislav A. Yermakov, Dr. Scs. (Phys-Math.), professor, Volga state unuversity of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

Nikolay N. Kazakov, Cand. Sci. (Tech.), deputy dean of Belorassian State University of Transport, Gomel, Belarus;

Alexandr V. Kirichenko, Dr. Sci. (Tech.), professor, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St.-Petersburg, Russia;

Dmitriy A. Kornilov, Dr. Sci. (Econ.), professor, NSTU, named after R.E. Alekseyev, Nizhny Novgorod, Russia;

Yuriy Yu. Korolyov, Cand. Scs. (Econ.), assistant professor, Belorussian state university (I.B.M.T BSU), Minsk, Belarus;

Elena A. Koroleva, Dr. Sci. (Econ.), professor, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St.-Petersburg, Russia;

Vladimir N. Kostrov, Dr. Sci. (Econ.), professor, Volga state unuversity of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

Dmitriy N. Lapaev, Member of RANS, Dr. Sci. (Econ.), Deputy Director for Research of the Institute of Economics and Management of Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R. E. Alekseev

Yelena A. Lavrentyeva., Dr. Sci. (Econ.), professor, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St.-Petersburg, Russia;

Igor V. Lipatov, Dr. Sci. (Tech.), professor, Volga state unuversity of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

Evgeniy A. Mareev, Dr. Sci. (Phys-Math), Federal Research Center Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, full member, Nizhny Novgorod, Russia;

Yuriy I. Matveyev, Dr. Sci. (Tech.), professor, Volga state unuversity of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

Pavel V. Metelkin, Dr. Sci. (Econ.), professor, Russian university of transport (MIIT), Moscow, Russia;

Valeriy I. Mineev, Dr. Sci. (Econ.), professor, Volga state university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

Dmitriy V. Nikushenko, Dr. Sci. (Tech.), professor, State Marine Technical University, St.-Petersburg, Russia;

Andrey.O. Nichiporuk, Dr. Sci. (Tech.), Volga state university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

Andrey.E. Plastinin, Dr. Sci. (Tech.), Volga state university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

Valeriy I. Reshnyak, Dr. Sci (Tech.), professor, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St.-Petersburg, Russia;

Evgeniy P. Ronnov, Dr. Sci. (Tech.), professor, Volga state university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

Airat M. Safarov, Dr. Sci. (Tech.), Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia;

Konstantin N. Sakhno, Dr. Sci. (Tech.), professor, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia;

Alexandr N. Sitnov, Dr. Sci. (Tech.), professor, Volga state university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

Alexey V. Soloviev, Dr. Sci. (Tech.), associate Director, Upper Volga branch of the Russian River Register, Nizhny Novgorod, Russia;

Oleg F. Udalov, Dr. Sci. (Econ.), professor, FSAEI H.Ed. NNSU named after Lobachevsky, Nizhny Novgorod, Russia;

Akylbek S. Umetalyev, Dr. Sci. (Econ.), professor, Kyrgyz State Technical University named after Razzakov, Bishkek, Kyrgyzstan;

Yuriy N. Urtmintsev, Dr. Sci. (Tech.), professor, Volga state university of water transport, Nizhny Novgorod, Russia;

Yuriy N. Tsvetkov, Dr. Sci (Tech.), professor, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St.-Petersburg, Russia.



## **Конструкторское бюро ВГУВТ**

**Института инноваций в судостроении и судоремонте организовано при ФГБОУ ВО "Волжский государственный университет водного транспорта" в Нижнем Новгороде в 2014 году.**

### **Оказываемые услуги в сфере гражданского, грузового, технического, пассажирского флота и береговой инфраструктуры:**

- ▶ Разработка документации эскизного, технического и рабочего проектов судов и объектов морской и речной техники;
- ▶ Согласование документации с классификационными обществами: РРР, РМСР и др., в том числе с ГИМС;
- ▶ Проектирование порт-пристаней, береговой инфраструктуры, включая яхт-клубы;
- ▶ Расчёты прочности, гидро- и аэродинамики с использованием лицензионного программного обеспечения;
- ▶ Консалтинговые услуги, в том числе проведение испытаний судов и материалов;
- ▶ Дизайн объектов морской и речной техники, 3D-моделирование, создание анимаций;
- ▶ Организация постройки судов; Конструкторское сопровождение производства.



Руководитель КБ ВГУВТ  
Шабала Алексей Геннадьевич  
kb-vsawt.ru  
+7(987)110-36-67  
8(831)419-78-41  
skb@vsawt.com



# СОДЕРЖАНИЕ

## **Судостроение, судоремонт и экологическая безопасность судна**

**А.Н. Ковалев, Ф.Н. Ковалев**

Методические заметки к начальной остойчивости корабля при перемещении груза по его палубе ..... 15

**М. П. Лебедева, О.М. Абдуллаев**

Алгоритм проектирования судов обеспечения подводно-технических работ методом базы данных ..... 32

**М.Н. Покусаев, А.А. Хмельницкая, К.Е. Хмельницкий, П.Н. Голубец**

Имитационно-лабораторные исследования методов очистки балластных вод ..... 50

**А.А. Хвалимов, В.А. Крамарь, А.В. Родькина, О.А. Иванова**

Выбор типа буровой установки для разведочного бурения в арктических условиях по методу анализа иерархий ..... 61

**Е.Ю. Чебан, О.В. Мартемьянова, М.Ю. Поляшова, А.А. Мольков**

Исследование влияния формы кормовой оконечности маломерного судна на его гидродинамические характеристики ..... 75

## **Судовое энергетическое оборудование**

**В.А. Жуков, А.В. Мильрат**

Перспективы решения задач импортозамещения при комплектовании энергетической установки судов с водометными движителями ..... 89

**Ю.И. Матвеев, М.Ю. Храмов, В.В. Кольванов, С.Ю. Курицын**

Повышение работоспособности деталей цилиндропоршневой группы судовых дизелей ..... 99

**В.В. Попов, А.В. Ивановская, А.Н. Ивановский**

Особенности разработки системы адаптивного управления специальными судовыми устройствами на примере траловой лебедки рыбопромыслового судна ..... 111

**И.В. Розов, С.В. Титов, Е.В. Черных**

Проблемы производства судовых энергетических установок на базе топливных элементов в Российской Федерации ..... 120

## **Экономика, логистика и менеджмент на транспорте**

**Е.А. Заостровских**

Мировой рынок судостроения: тенденции и перспективы развития ..... 132

**О.Л. Домнина, В.Н. Костров, А.О. Ничипорук**

Современное состояние, проблемы и основные направления развития логистики на водном транспорте ..... 141

**С.Г. Митрошин, В.И. Минеев, Ю.Н. Уртминцев, А.А. Лисин**

Российский международный реестр судов как фактор развития экономики страны . 166

**Ж.Ю. Пыжова, Р.И. Каравашкина**

Актуальные проблемы организации оплаты труда персонала транспортного вуза: горизонты развития ..... 179

<b><i>В.В. Цверов</i></b> Анализ условий расширения участия речного транспорта в перевозках зерновых культур по МТК «Север – Юг» .....	192
---	-----

***Эксплуатация водного транспорта, судовождение и безопасность судоходства***

<b><i>Д.Н. Костюничев, Н.С. Отделкин, Д.О. Зименков</i></b> Экспериментальный метод определения количественных характеристик потерь сыпучих грузов при перегрузке грейфером .....	210
--	-----

<b><i>В.А. Лобанов</i></b> Ледовый паспорт речного ледокола: ходкость .....	219
--	-----

<b><i>А.Ю. Платов</i></b> Исследование поведения коэффициентов взаимодействия системы корпус-двигатель по данным натурных испытаний речных грузовых судов .....	229
--	-----

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

<b><i>А.Н. Ситнов, Ю.Е. , „Воронина, М.В. Шестова</i></b> Оценка возможности достижения гарантированных габаритов судового хода для создания условий развития речного туризма на Нижней Вятке.....	244
---	-----

# CONTENTS

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

***Aleksandr N. Kovalev, Fedor N. Kovalev***

Methodical notes to the initial stability of the ship when moving cargo ..... 15

***Marina P. Lebedeva, Oyrad M. Abdullayev***

Algorithm for designing vessels for underwater technical operations using  
database method ..... 32

***Mikhail N. Pokusaev, Anastasia A. Khmel'nitskaya, Konstantin E. Khmel'nitsky, Pavel  
N. Golubets***

Simulation and laboratory studies of ballast water purification methods ..... 50

***Alexandra A. Khvalimova, Vadim A., Kramar, Anna V. Rodkina, Olga A. Ivanova***

Drilling rig type selection for exploratory drilling in the Arctic conditions using analytic  
hierarchy method ..... 61

***Egor Yu. Cheban, Olga V. Martemianova, Marina Yu. Polyashova, Aleksandr A. Mol'kov***

Study of the influence of the vessel stern shape on its hydrodynamic characteristics ..... 75

## ***Ship power equipment***

***Vladimir A. Zhukov, Artur V. Milrat***

Prospects for solving import substitution problems when completing the power plant of  
ships with water jet propellers ..... 89

***Yuriy I. Matveev, Michael Y. Khramov, Vladimir V. Kolyvanov, Sergey Y. Kuritsyn***

Improving the performance of parts of the cylinder piston group of marine  
diesel engines ..... 99

***Vladimir V. Popov, Aleksandra V. Ivanovskaya, Aleksei N. Ivanovskii***

Specific features of the development of an adaptive control system for special ship devices  
on the example of a trawl winch of a fishing vessel ..... 111

***Ilya V. Rozov, Sergey V. Titov, Elena V. Chernykh***

Problems of production of marine power plants based on fuel cells  
in the Russian Federation ..... 120

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

***Elena A. Zaostrvskikh***

Global shipbuilding market: trends and development prospects ..... 132

***Olga L. Domnina, Vladimir N. Kostrov, Andrei O. Nichiporuk***

Current state, problems and main directions of logistics development in water transport.. 141

***Sergei G. Mitroshin, Valery I. Mineev, Yuri N. Urtmintsev, Alexander A. Lisin***

Russian International Register of Vessels as a Development Factor country's economy ... 166

***Zhanna Y. Pyzhova, Renata I. Karavashkina***

Current problems of the organization of payment of the staff of the transport university:  
horizons of development ..... 179

***Vladimir V. Tsverov***

Analysis of conditions of expanding river transport participation in the grain crops shipment  
along the ITC «North – South» ..... 192

***Operation of water transport, navigation and safety of navigation***

***Denis N. Kostyunichev, Nicolay S. Otdelkin, Danila O. Zimenkov***

Experimental method of determining bulk cargo losses quantitative characteristics during  
grappling overload ..... 210

***Vasily A. Lobanov***

Ice passport of a river icebreaker: propulsion ability ..... 219

***Alexander J. Platov***

Study of the ship-propeller interaction by trials of the river cargo ships ..... 229

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

***Aleksandr N. Sitnov, Yulia E. Voronina, Marina V. Shestova***

The assessment of the possibility of achieving guaranteed dimensions of the ship's passage  
to create conditions for the development of river tourism on the Lower Vyatka ..... 244

## **СУДОСТРОЕНИЕ, СУДОРЕМОНТ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СУДНА**

### **SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ECOLOGICAL SAFETY OF THE SHIP**

УДК 629.5.015.12: 532.3

DOI: 10.37890/jwt.vi76.385

#### **Методические заметки к начальной остойчивости корабля при перемещении груза по его палубе**

**А.Н. Ковалев**<sup>1</sup>

**Ф.Н. Ковалев**<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> *Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия*

<sup>2</sup> *Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия*

<sup>3</sup> *Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия*

**Аннотация.** В статье обсуждаются некоторые положения задачи о перемещении груза на корабле в пределах теории начальной остойчивости. Указывается, что изложение вопроса об остойчивости корабля при поперечном и продольном перемещении груза на нем в некоторых традиционных учебниках недостаточно конкретно. По возможности проанализированы причины возникновения неконкретных моментов в задаче. Предлагается вести изложение этой задачи с использованием более четких формулировок ее положений. В частности, вопреки существующему мнению о неизменности начальной остойчивости корабля при переносе груза по его палубе, в статье наглядно показано, что начальная остойчивость корабля, наклоненного за счет смещения его центра тяжести, будет больше, чем у того же корабля в прямой посадке (с несмещенным центром тяжести). И это неразрывно связано с последующим изменением остойчивости корабля на больших углах крена. Материалы статьи помогут сформировать лучшее понимание поведения корабля при малых углах крена, вызываемых перемещением груза по палубе, и будут способствовать устранению из литературы по статике корабля иногда некорректных выводов из решения задачи о таком переносе груза.

**Ключевые слова:** начальная остойчивость, метацентрическая высота, перемещение груза на корабле.

#### **Methodical notes to the initial stability of the ship when moving cargo on its deck**

**Aleksandr N. Kovalev**<sup>1</sup>

**Fedor N. Kovalev**<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> *Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseyev, Nizhny Novgorod, Russia*

<sup>2</sup> *Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia*

<sup>3</sup> *Nizhny Novgorod State University n.a. N.I. Lobachevsky, Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** The article discusses some provisions of the problem of moving cargo on a ship within the theory of initial stability. It is indicated that the presentation of the issue of the stability of the ship during the transverse and longitudinal movement of cargo on it in some traditional textbooks is not specific enough. If possible, the reasons for the occurrence of

non-specific moments in the problem are analyzed. It is proposed to present this task using clearer formulations of its provisions. In particular, contrary to the existing opinion about the invariability of the initial stability of a ship when carrying cargo on its deck, the article clearly shows that the initial stability of a ship tilted due to the displacement of its center of gravity will be greater than that of the same ship in a straight state (with an unbiased center of gravity). And this is inextricably linked with the subsequent change in the stability of the ship at large roll angles. The materials of the article will help to form a better understanding of the ship's behaviour at small roll angles caused by the movement of cargo on the deck, and will help to eliminate from the literature on ship statics sometimes incorrect conclusions from solving the problem of such cargo transfer.

**Keywords:** initial stability, metacentric height, cargo movement on the ship **Введение**

В настоящее время теория начальной остойчивости считается вполне устоявшимся разделом теории корабля. Её многократно выверенные и отредактированные положения сведены к каноническому виду и поэтому должны быть ясными, прозрачными, не вызывать каких-либо сомнений. В том числе это относится и к классической задаче о перемещении груза на корабле.

Эта задача важна не только тем, что в ней изучается поведение корабля под воздействием наиболее типичного эксплуатационного фактора, но и тем, что схема ее решения является основой в исследовании многих других задач статики корабля. Кроме того, решение этой задачи используется в важном опыте кренования. Поэтому при изучении теории остойчивости указанной задаче всегда отводится пристальное внимание. И всегда есть желание привить студентам умение до автоматизма пользоваться ее решением; привить четкое осознание происхождения окончательных формул и выводов этого решения.

Однако, на наш взгляд, в учебной литературе по теории корабля присутствуют выводы, которые уводят от четкости понимания рассматриваемого вопроса и даже могут ввести студента и другого читателя в заблуждение. В свою очередь, из учебной литературы такие выводы закономерным образом перекочевывают в практические руководства для проектантов и эксплуатационников. А это уже вызывает некоторую настороженность.

Настоящая статья имеет целью внести уточнения в *методику* изложения и результаты задачи о перемещении груза на корабле и разностороннее осветить её решение. Эта статья открывает небольшой цикл наших публикаций, посвященных этим цели и задаче.

Заявленные уточнения и пояснения к ним далее представлены последовательно в виде небольших пронумерованных заметок, что и отражено в названии статьи.

### **Положения, решения и обсуждение**

**1.** Итак, пусть на корабле, имеющем прямую посадку, был перемещен груз. Масса груза может быть и не малой; важно лишь, чтобы вследствие его перемещения наклонение корабля было мало. Это позволяет пренебрегать взаимным влиянием крена и дифферента и пользоваться метacentрическими формулами начальной остойчивости. В задаче спрашивается – какова будет посадка и остойчивость корабля после перемещения груза (в новом равновесном положении)?

Чтобы ответить на этот вопрос, традиционно вводится связанная с кораблем, прямоугольная декартова левая система координат: ось  $z$  – направлена вверх и является пересечением диаметральной плоскости (ДП) и плоскости мидель-шпангоута корабля; ось  $y$  – направлена на правый борт и есть пересечение основной плоскости (ОП) и плоскости мидель-шпангоута; ось  $x$  – направлена в нос корабля и есть пересечение ОП и ДП.

Далее решение задачи ведется в три этапа: исследуется изменение посадки и остойчивости корабля после каждого из трех взаимно-перпендикулярных, вдоль

координатных осей, перемещений груза, на которые разлагается его общее перемещение на корабле. Окончательный вывод, получаемый в ходе решения, следующий [1, с. 107]: «Таким образом, перемещение в продольном и поперечном направлениях изменяет посадку корабля, но не изменяет остойчивости. Перемещение же в вертикальном направлении ... изменяет только остойчивость, но не изменяет посадку корабля.»

Такую формулировку окончательного вывода можно считать классической в том смысле, что она в явном или неявном виде повсеместно присутствует в литературе по статике корабля, а студенты, отвечая на вопрос рассматриваемой задачи, как правило, стремятся вставить в свой ответ эту фразу. Мы остановимся в настоящей статье только на той части этой цитаты, в которой говорится о продольном и поперечном перемещениях груза. Чтобы акцентировать на этом внимание, приведем еще цитату из [2, с. 238]: «При продольном перемещении груза параллельно плоскости начальной ватерлинии происходит только наклонение корабля ... без изменения среднего углубления и начальной остойчивости. Механика наклонения та же, что и при поперечном перемещении груза.»

Аналогичный вывод прослеживается, к примеру, и в учебниках [3,4,5], а также в практическом руководстве [6]. Еще большее запутывание вопроса встречаем в учебнике [7, с. 169], по которому обучалось не одно поколение студентов, начинающих знакомиться с азами теории корабля: «При горизонтально-поперечном переносе груза из точки  $A(U_1)$  в точку  $B(U_2)$  начальная остойчивость не изменится, так как ни аппликата метацентра, ни аппликата центра тяжести не получат приращений (рис. 1).» В этой фразе, на наш взгляд, содержится софизм в чистом виде, т.е. рассуждение формально кажущееся правильным, но на самом деле содержащее ошибку, приводящую к искажению реальности.

Так в чем же здесь ошибка? Чтобы ее обнаружить, достаточно вспомнить определение понятия «метацентрическая высота», которая является мерой начальной остойчивости. В том же учебнике [7, с. 163] находим: «Расстояние между начальным метацентром и центром тяжести судна носит название ... метацентрической высоты». Таким образом, метацентрическая высота – это расстояние между метацентром и центром тяжести (ЦТ) корабля, а не расстояние между аппликатами этих точек (в корабельной системе координат, показанной на рис. 1). Поэтому любое перемещение груза на корабле повлечет за собой смещение ЦТ последнего. И, следовательно, **при любом перемещении груза на корабле, в том числе поперечном и продольном, расстояние между ЦТ корабля и его метацентром изменится, а потому изменится и остойчивость корабля.** Если более конкретно и в рамках начальной остойчивости, то на корабле с исходной прямой посадкой перенос груза параллельно палубе **увеличивает** его метацентрическую высоту.

Это хорошо видно из рис. 2, где показано новое положение корабля после поперечного перемещения груза весом  $p$  из точки  $A$  с ординатой  $y_A$  в точку  $B$  с ординатой  $y_B$ . На этом рисунке обозначено:  $\theta$  – угол крена корабля;  $\vec{V}$  и  $\vec{\gamma}V$  – его весовое водоизмещение вместе с переносимым грузом и сила Архимеда;  $ВЛ$ ,  $G$ ,  $C$ ,  $m$  – положение ватерлинии, ЦТ корабля, центра величины и поперечного метацентра. Индексы 1 и 2 соответствуют начальному и конечному положению корабля. В новом равновесии поперечная метацентрическая высота  $h_2$  будет больше прежней  $h_1$ :

$$h_2 = \frac{h_1}{\cos \theta} \quad (1)$$

или

$$h_2 = h_1 + \Delta h, \text{ где } \Delta h = h_1 \left( \frac{1}{\cos \theta} - 1 \right)$$

а угол  $\theta$  определяется из равенства кренящего  $M_{кр}$  и восстанавливающего  $M_{вост}$  моментов (см. указанные учебники):

$$M_{кр} = M_{вост} \cdot \quad (2)$$

И поскольку

$$M_{кр} = pl_y \cos \theta, \quad (3)$$

$$M_{вост} = Dh_1 \sin \theta, \quad (4)$$

то

$$\theta = \text{arctg} \frac{p(y_B - y_A)}{Dh_1} = \text{arctg} \frac{pl_y}{Dh_1}, \quad (5)$$

$l_y = y_B - y_A$  – плечо переноса груза.

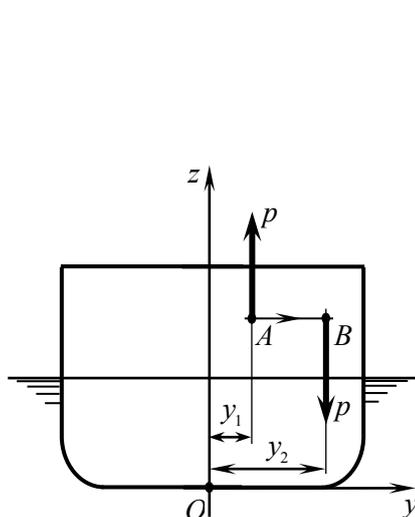


Рис. 1. Горизонтально-поперечный перенос груза [7, с. 169]

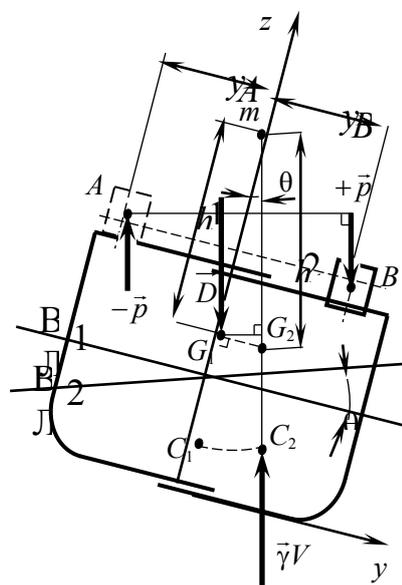


Рис. 2. Перемещение груза по палубе с левого борта на правый

Таким образом, еще раз – начальная остойчивость корабля, наклоненного за счет смещения параллельно палубе его ЦТ, оказывается больше, чем у того же корабля в прямой посадке (с несмещенным ЦТ), каким бы, может быть, парадоксальным или непривычным не казался этот результат. Далее в статье и последующих наших публикациях по этой теме он неоднократно будет подтвержден.

2. Следует сразу оговориться, что в теории начальной остойчивости, рассматривающей обычно только малые углы  $\theta$ , различие между высотами  $h_2$  и  $h_1$  не делают. То есть, полагая для малых  $\theta$  в (1)  $\cos \theta \approx 1$ , принимают, что  $h_2 \approx h_1$ . Исходя из этого и не заостряя внимание на словесных формулировках, можно считать приведенные выше цитаты справедливыми. И отсюда далее можно усомниться в целесообразности последующих изысканий, опирающихся во многом на (1), т.е. на различие  $h_2$  и  $h_1$ .

Однако введение в оборот высоты  $h_2$  позволяет порой глубже и легче проанализировать поведение корабля при тех же малых углах его наклона. В следующей нашей статье будет дан пример этому. Там попутно будет решена конкретная задача о наклоне корабля из разных положений при перемещении груза по его палубе. В этой задаче сопоставляются углы крена корабля – сами по себе малые величины, именно с которыми имеет дело теория начальной остойчивости и их малостью не пренебрегает. А сделать различие между этими малыми углами как раз помогает различие более высокого порядка малости между метацентрическими высотами  $h_2$  и  $h_1$ .

Учет величин последующих порядков малости, чем, например, обычно (но, не всегда!) является различие между  $h_2$  и  $h_1$ , вряд ли уместен в практических расчетах. Но в теоретическом плане такой учет бывает полезен. Последующее приближение может быть одновременно и следующим шагом в построении нелинейной модели явления, и «взглядом со стороны» на пренебрегаемые эффекты предыдущего приближения. В публикациях нашего цикла будет идти речь об этих эффектах, которые исчезают, если не принять во внимание (1). Такой эффект виден хотя бы уже из пункта 1: если считать, что  $h_2 \approx h_1$ , то остойчивость корабля после перемещения груза по его палубе не изменится, что утверждается в учебниках; если же учесть (1), то, несмотря на малое различие между  $h_2$  и  $h_1$ , становится видно, что остойчивость наклоненного корабля все-таки чуть-чуть будет больше, хотя, может быть, и незначительно для практики. Но практика относительна к решаемым задачам. И незначительность для практики в каком-либо конкретном случае – не повод вообще ограничиваться от более разностороннего анализа явления. Существуют плавающие тела, например, с круговыми и близким к ним обводами, для которых метацентрическая формула (4) работает и при больших углах  $\theta$  [1, с. 163]. И для таких тел различие между  $h_2$  и  $h_1$  уже будет практически заметным.

Вообще, главным условием применимости теории начальной остойчивости является малость углов  $\theta$ , благодаря чему можно принять, что  $\sin \theta \approx \theta$  и  $\cos \theta \approx 1$ . Таковым условием является допущение о том, что при наклоне корабля его центр величины перемещается по окружности с центром в исходном метацентре и радиусом равным исходному метацентрическому радиусу [8, с. 51]. Но у большинства кораблей кривая центра величины начинает достаточно быстро отличаться от указанной окружности, что и позволяет конкретизировать условие применимости теории начальной остойчивости в более удобном для практики виде, как условие малости углов наклона корабля.

Поэтому против положения об увеличении метацентрической высоты на основе (1) можно было бы сказать, что при наклоне корабля метацентр смещается с ДП ниже и в сторону наклона. Это будет уменьшать метацентрическую высоту, частично или полностью нивелируя её прирост за счет (1). Однако дело так обстоит не всегда. Обозначенная ситуация со смещением метацентра в сторону наклона корабля соответствует часто встречающемуся выпуклому типу диаграммы статической остойчивости. Если же диаграмма имеет S-образный тип, что тоже не редкость, то метацентр, наоборот, будет сначала уходить с ДП выше и противоположно наклону корабля. Это приведет к увеличению метацентрической высоты и еще большему её отличию от  $h_1$  по сравнению с (1).

Естественным тогда будет принять во внимание и тип диаграммы, промежуточный между выпуклым и S-образным, т.е. у которого начальный квазилинейный участок, в том числе близкий к синусоиде (4), является достаточно протяженным, чтобы для соотношения (1) можно было рассматривать не совсем уж малые углы. Начальная квазилинейность диаграммы, близкая к синусоиде (4), свидетельствует о том, что метацентр почти не меняет своего положения при

начальных наклонениях корабля. И при перемещении груза по его палубе прирост метацентрической высоты происходит в основном за счет (1). (Кроме того, близкая к синусоиде (4) квазилинейность начального участка диаграммы более схожа с её выпуклым типом, который все же встречается чаще, чем S-образный тип.)

Целесообразным видится начинать анализ поведения корабля именно с этой простой ситуации начальной (как можно более протяженной) квазилинейности диаграммы, благодаря чему и возникла теория начальной остойчивости.

С учетом сказанного в настоящем пункте 2, использование в теории высоты  $h_2$ , на наш взгляд, не лишено смысла, который отчасти проиллюстрирован в данной статье. После сделанной оговорки, продолжим обсуждение вышеприведенных цитат из учебников.

3. Имея сейчас в виду цитату из [7, с. 169] о неизменности аппликат метацентра и ЦТ корабля «*при горизонтально-поперечном переносе груза*», следует заметить, что ось  $z$  какой-либо системы координат часто располагается вертикально, и поэтому аппликаты привычно ассоциируются с координатами по высоте. В частности, когда корабль имеет прямую посадку, вертикальное положение в ДП метацентра и ЦТ корабля (а также, центра величины) удобно определять аппликатами корабельной системы координат, о которой говорилось в начале пункта 1 и которая показана на рис.1.

В цитате из [7, с. 169] правильно сказано, что «*при горизонтально-поперечном переносе груза ... ни аппликата метацентра, ни аппликата центра тяжести не получают приращений*». При этом, однако, умалчивается о том, что после крена корабля за счет смещения его ЦТ и поворота связанной с ним системы координат эти аппликаты уже не будут вертикальными координатами на линии расположения метацентра и ЦТ корабля (см. далее рис. 5). Тем самым читатель [7] вводится в заблуждение.

4. Вообще, на наш взгляд, не лишним было бы в задачах о крене корабля указывать, что крен – это поворот корабля (в плоскости мидель-шпангоута) и связанной с ним системы координат относительно Земной координатной системы (горизонтальные координаты которой обычно располагаются на невозмущенной поверхности водоема). Благодаря этому угол крена бывает полезно рассматривать как угол в плоскости мидель-шпангоута между осью  $z$  корабельной системы координат и вертикалью. Например, такая полезность проявилась при анализе цитаты из [7, с. 169] об аппликатах метацентра и ЦТ корабля.

Однако в литературе по статике корабля используется традиционное определение: «*В качестве угла крена рассматривают угол между осью  $Oy$  и следом ватерлинии на плоскости мидель-шпангоута*» [8, с. 8]. Такой подход к определению угла крена непреднамеренно сужает взгляд на ту или иную задачу и может ограничить возможности для её исследования. В силу процитированного традиционного определения угла крена угол между осью  $z$  корабельной системы координат и вертикалью воспринимается уже как вторичный, дополнительный к «традиционному» углу крена; как угол, организованный из вспомогательных геометрических построений. Ну а на самом деле он полностью равноправен углу «*между осью  $Oy$  и следом ватерлинии на плоскости мидель-шпангоута*».

5. Вернемся к аппликатам метацентра и ЦТ корабля и еще раз обратимся к цитате из [7, с. 169], которая с нашей подачи приведена в отрыве от контекста, следующего за ней. То есть в [7, с. 169] процитированная нами фраза о неизменности аппликат метацентра и ЦТ корабля при «*при горизонтально-поперечном переносе груза*» выступает тезисом-утверждением, после чего сразу дается поясняющий контекст в привязке к рис. 1: «*Заметим, что перенос груза на расстояние  $AB$  можно представить как снятие груза из точки  $A$  и прием такого же груза в точку  $B$ .*

*Приложив к судну в этих точках две равные, но противоположно направленные силы  $p$ , видим, что перенос груза приводит к образованию пары сил на плече  $(y_2 - y_1)$ , момент которой вызывает крен судна.»*

Теперь пояснения сделаем мы. Действительно, предлагаемая в [7] расчетная схема о переносе груза кажется самой простой и поэтому удобной. Как следствие, она неизменно встречается в литературе по статике корабля. Наш комментарий к этой схеме будет сделан в следующем пункте 6. А пока лишь укажем, что поясняющий контекст в [7, с. 169], а также, например, в [1, с. 106; 2, с. 240; 5, с. 81, 82], следовало бы дополнить словами о том, что в данной расчетной схеме надо «считать, что переносимый груз остался на месте и что центр тяжести корабля тоже не изменил своего положения» [9, с. 291].

В [7] об этом ничего не сказано, но, видимо, негласно подразумевается. А для читателя, наоборот, утверждается, что происходит «снятие груза из точки  $A$  и прием такого же груза в точку  $B$ », т.е. «перенос груза на расстояние  $AB$ » [7, с. 169]. Тем самым читатель [7] вводится в заблуждение, оставаясь в неведении того, о чем подразумевается в предлагаемой расчетной схеме. Он должен полагаться на свою внимательность и самостоятельный, глубокий анализ данной схемы. Но отслеживать и разрешать все недомолвки и недоразумения (очевидно, непреднамеренные), заложенные в книгу, тем более, учебник, конечно, не просто. И поэтому удобная расчетная схема может оказаться не такой простой, как была воспринята при первом ознакомлении с ней.

Подразумеваемая же, «что переносимый груз остался на месте и что центр тяжести корабля тоже не изменил своего положения», в цитате-тезисе из [7, с. 169] как раз и полагается, что аппликата ЦТ корабля не получит приращения. Рассматриваемая расчетная схема до того, как корабль примет крен, показана на рис. 1, а корабля с креном – на рис. 2 (которого в [7] нет). Из рис. 2 видно, что ЦТ наклоненного корабля – точка приложения силы  $D$  – сохранил свое положение на оси  $z$  корабельной системы координат.

Поэтому, следуя использованной расчетной схеме, в цитате из [7, с. 169] правильно сказано, что «при горизонтально-поперечном переносе груза ... ни аппликата метацентра, ни аппликата центра тяжести не получают приращений». При этом, однако, умалчивается о том, что в отличие от расчетной схемы, в реальности ЦТ корабля будет смещенным с оси  $z$ . И, наоборот, говоря о том, «что перенос груза на расстояние  $AB$  можно представить как снятие груза из точки  $A$  и прием такого же груза в точку  $B$ », умалчивается о неизменности положения груза в точке  $A$  в принятой расчетной схеме.

6. Одна из причин софизма, заложенного в цитату-тезис из [7, с. 169] и поясняющий её контекст, заключается в том, что само описание расчетной схемы, представленной в настоящей статье и на рис. 1 и на рис. 2, не совсем конкретно. Действительно, «приложив к судну в этих точках (в точках  $A$  и  $B$  – наше примечание) две равные, но противоположно направленные силы  $p$ », не следует забывать, что в точке  $A$  сила  $+p$  не исчезла.

То есть, если рассматриваемую расчетную схему пояснять либо рисунком 1 либо рисунком 2 более конкретно, то на этих рисунках должно быть сохранено в точке  $A$  изображение силы  $+p$  – силы тяжести груза, направленной вниз так же, как это сделано и для силы  $D$ , не изменившей точки своего приложения в данной расчетной схеме. Но на рис. 1 и рис. 2 силы  $+p$  в точке  $A$  нет. А не может её быть только в том случае, если в точке  $A$  не будет и силы  $-p$ , т.е. когда эти силы друг друга компенсируют. Изображая же на схеме силу  $-p$ , нужно не забыть и про силу  $+p$ , либо обе эти силы убрать с чертежа.

Обсуждаемая расчетная схема с переносом груза должна на чертеже выглядеть в одном из эквивалентных видов, представленных на рис. 3. Откуда видно, что на самом деле перенос груза **не** «приводит к образованию пары сил на плече ( $Y_2 - Y_1$ )», как это постулируется в [7, с. 169] или, например, в [2, с. 240]: «Перемещение груза на корабле по тому или иному направлению механически приводится к действию наклоняющей пары, изменяющей посадку корабля.» А в действительности «перенос груза приводит к образованию»

– либо пары сил на плече переноса груза с сохранением самой силы в исходной точке его расположения, т.е. в точке  $A$  (схемы «б» и «в» на рис. 3);

– либо силы в точке переноса груза, т.е. в точке  $B$  (схема «г» на рис. 3). При этом схема «д» не вполне эквивалентна схеме «г», поскольку момент создаваемый силой, приложенной к телу, – это лишь одна сторона проявления её воздействия на тело. Для исследования его равновесия необходимо рассматривать как равенство нулю суммы моментов сил, действующих на тело, так и равенство нулю суммы самих этих сил.

Рассматриваемую расчетную схему и её виды не следует путать с теоремой из теоретической механики о параллельном переносе силы [10, с. 37]: «силу, приложенную к абсолютно твердому телу, можно, не изменяя оказываемого ею действия, переносить из данной точки в любую другую точку тела, прибавляя при этом пару с моментом, равным моменту переносимой силы относительно точки, куда сила переносится.»

Действительно, пусть сила  $+\vec{P}$  приложена в точке  $A$  тела (рис. 4). Тогда, если в точке  $B$  того же тела приложить две силы  $+\vec{P}$  и  $-\vec{P}$ , уравновешивающие друг друга, то действие силы в точке  $A$  не изменится. То есть состояние равновесия или движения тела сохранится прежним. Но полученную систему трех сил можно рассматривать как силу  $+\vec{P}$ , приложенную теперь уже в точке  $B$ , и момент от пары сил:  $+\vec{P}$  и  $-\vec{P}$ , первая из которых приложена в точке  $A$ , а вторая – в точке  $B$ .

Таким образом, в этой теореме говорится о том, что наряду с уже имеющейся силой  $+\vec{P}$ , действующей в точке  $A$ , к телу прикладывается в точке  $B$  уравновешенная система двух сил:  $+\vec{P}$  и  $-\vec{P}$ . После чего тело остается в прежнем равновесии (движении).

А в расчетной схеме принято, что наряду с уже имеющейся силой  $+\vec{P}$ , действующей в точке  $A$ , к телу (кораблю) прикладывается *неуравновешенная* система сил – момент от пары сил:  $-\vec{P}$  и  $+\vec{P}$ , начинающих действовать соответственно в точках  $A$  и  $B$ . После чего корабль не сможет сохранить равновесие. Для его восстановления к кораблю требуется приложить еще один момент – восстанавливающий, равный по модулю моменту от указанной пары, но противоположно направленный.

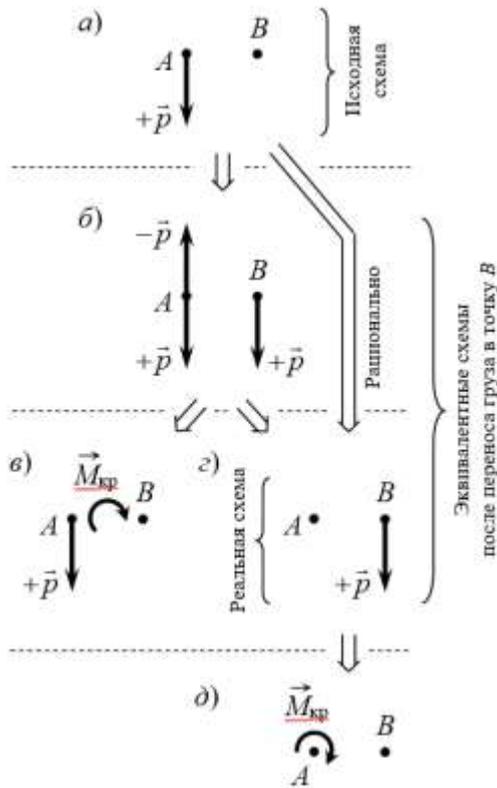


Рис. 3. Расчетные схемы при переносе груза из точки A в точку B.

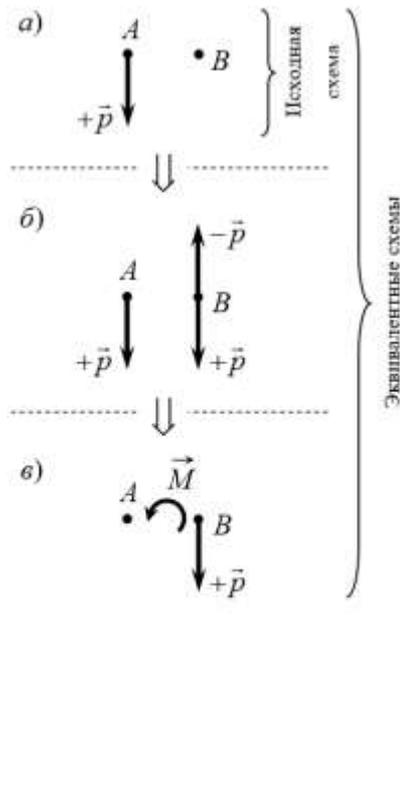


Рис. 4. Эквивалентные схемы к теореме о параллельном переносе силы

На схеме «в»  $\vec{M}_{кр}$  – момент пары сил.  
 На схеме «г»  $M_{кр}$  – момент силы относительно точки A.  
 Момент пары сил и момент силы – это не одно и то же.

Отметим еще, что в процитированной теореме из теоретической механики и в рассматриваемой расчетной схеме точки A и B могут располагаться произвольно относительно друг друга. То есть отрезок [AB] совсем не обязательно должен быть перпендикулярным к линиям действия сил, как показано на рис.3 и рис. 4. В частности, если точка B лежит на линии действия силы, приложенной в точке A, то

– из теоремы получим следствие [10, с. 12]: «действие силы на абсолютно твердое тело не изменится, если перенести точку приложения силы вдоль линии её действия в любую другую точку тела»;

– а из рассматриваемой расчетной схемы получим иллюстрацию к задаче о вертикальном переносе груза на корабле. В этой иллюстрации также не надо забывать про изображение в точке A силы  $+\vec{p}$ , чего не сделано, например, в [5, с. 80]. Если же это сделать, то наглядно будет видно, что перенос груза по вертикали формально эквивалентен процитированному следствию из теоремы, поскольку и в том, и в другом случае к абсолютно твердому телу прикладывается уравновешенная система двух сил (хотя и к разным точкам в разных случаях). Одновременно это значит, что согласно следствию из теоремы, положение корабля не изменится после

вертикального переноса груза на нем. И это правильно утверждается во всех книгах по статике корабля.

Есть подозрение, что указанное формальное совпадение следствия из теоремы и расчетной схемы для вертикального переноса груза когда-то послужило одним из поводов для широкого распространения такого типа схем в решениях задач статики корабля. То есть, усматривая внешнюю схожесть теоремы о параллельном переносе силы (и следствия из неё) с задачей о переносе груза, было принято каждый раз в задачах статики корабля задействовать такой показательный прием из доказательства теоремы как приложение к телу двух противоположно направленных сил, равных по величине переносимой силе. С тех пор этот прием в неизменном виде (обычно неконкретном, о чем шла речь в настоящем пункте **б**) перетекает автоматически из одного издания по статике корабля в другое.

А на самом деле, в этом приеме совершенно нет необходимости. Он излишний, по крайней мере, в задаче о переносе груза на корабле, которая как раз и похожа на теорему о переносе силы. И даже, наоборот. Как только что можно было убедиться, этот прием своими совсем ненужными действиями по приложению к телу (кораблю) дополнительных сил лишь запутывает процесс решения задачи, уведит от рационального подхода к ней.

Вместо этого приема с приложением к кораблю дополнительных сил гораздо проще, гораздо удобнее, гораздо реалистичнее от исходной схемы «а» на рис. 3 сразу перейти к схеме «г». Надо, следуя физике задачи, просто перенести груз и его силу тяжести из точки А в точку В. И всё – никаких дополнительных сил вводить не надо. Перенесенная в точку В сила создаст кренящий момент (3), который вызовет крен корабля на угол (5).

Однако, чтобы решение задачи по схеме «г» из рис. 3 было действительно простым, изящным и, главное, практичным, потребуются раскрыть еще одну особенность этой задачи. Особенность, хотя и является ключом к решению, в известной нам литературе по статике корабля обходится стороной. Это является другим поводом к использованию в литературе расчетной схемы «б» или «в» из рис. 3 при переносе груза на корабле. Раскрытию указанной особенности и решению задачи по схеме «г» (рис. 3) будет посвящена наша отдельная статья. А здесь не будем более задерживать внимание читателя и продолжим следовать основной теме настоящей статьи – об остойчивости наклоненного корабля.

7. Заметим, что наряду с (1) новую метацентрическую высоту  $h_2$  можно выразить еще через величину смещения ЦТ корабля или через вес и плечо переносимого груза. В первом случае из рис. 2 несложно определить

$$h_2 = \frac{\Delta y_G}{\sin \theta}, \quad (6)$$

где  $\Delta y_G = |G_1 G_2|$  – смещение ЦТ корабля (параллельно палубе). Если корабль имел изначально несмещенный ЦТ, то  $\Delta y_G = y_{G_2}$  – ордината смещенного ЦТ корабля.

Для второго случая нужно воспользоваться следствием из теоремы Вариньона: если одно из тел, составляющих систему, переместится в каком-либо направлении, то центр тяжести всей системы переместится в том же направлении на расстояние, пропорциональное отношению веса тела к весу системы. Таким образом, перемещение груза вдоль оси  $y$  приведет к перемещению ЦТ корабля вдоль той же оси на расстояние

$$\Delta y_G = \frac{P}{D} (y_A - y_B). \quad (7)$$

Тогда из (6)

$$h_2 = \frac{p}{D} \frac{l_y}{\sin \theta}. \quad (8)$$

Следовательно, если знать вес и плечо перемещаемого груза и измерить угол крена, вызванный этим перемещением, то по формуле (8) можно быстро рассчитать метацентрическую высоту наклоненного корабля заданного водоизмещения. Другими словами, высота  $h_2$  легко (в теории) определяется из опыта кренования.

Что же касается самого опыта кренования, то изначальная его цель состоит в определении высоты  $h_1$ , которая согласно (2), (3), (4) рассчитывается по формуле

$$h_1 = \frac{p}{D} \frac{l_y}{\text{tg } \theta}. \quad (9)$$

Чтобы повысить точность опыта его выполняют несколько раз на правый и на левый борт. Результаты опыта потом обрабатывают по методу наименьших квадратов [8, с. 113].

Пусть на корабле с прямой посадкой груз перенесен на правый борт и, замерив угол крена, по (9) рассчитана величина  $h_1$ . Наклоненный корабль имеет теперь метацентрическую высоту  $h_2$  (рис. 5). Вернем груз обратно. Сейчас целесообразно уточнить – если во втором опыте снова воспользоваться формулой (9), то высота  $h_1$  или  $h_2$  будет по ней рассчитана? То есть, проделывая опыт кренования несколько раз, находим ли мы среднее значение из величин  $h_1$ , или среднее значение из совокупности величин  $h_1$  и  $h_2$ ?

Анализируя формулу (9) и рис. 6, где изображено равновесие корабля после обратного переноса груза, видим, что величина  $pl_y$  в этом случае есть кренящий момент.

Если плечо  $l_\theta = |G_2G_1|$  восстанавливающего момента выразить через метацентрическую высоту  $h_2$ , то традиционно так же, как и в (4), будем иметь  $M_{\text{восст}} = Dl_\theta = Dh_2 \sin \theta$ . И тогда из (2) получится формула (8) для расчета высоты  $h_2$ . Если вспомнить вывод формулы (8) из (6), то будет понятно, что она справедлива при произвольном изменении величины  $pl_y$  в рамках начальной остойчивости. Но сейчас, применительно к рис. 6, под величиной  $pl_y$ , следует иметь в виду конкретный кренящий момент, возвращающий кораблю исходную прямую посадку.

Обращаясь опять к формуле (9), заметим, что в отличие от (8) при том же конкретном значении  $pl_y$  кренящего момента в ней присутствует функция  $\text{tg } \theta$ , но не  $\sin \theta$ . А для того, чтобы плечо  $l_\theta$  выразить через  $\text{tg } \theta$ , эту тригонометрическую функцию нужно умножить именно на величину  $h_1$ , что видно из рис. 6. Следовательно, проделывая опыт кренования несколько раз и используя при этом формулу (9), мы всегда рассчитываем по ней метацентрическую высоту  $h_1$ .

Отметим еще, что возвращение груза на штатное место можно рассмотреть как его горизонтальное перемещение и дальнейший подъем вертикально вверх. Из сказанного в пункте 1 понятно, что горизонтальное перемещение несколько увеличит высоту  $h_2$ . А последующий вертикальный подъем груза вверх уменьшит ее до значения  $h_1$ .

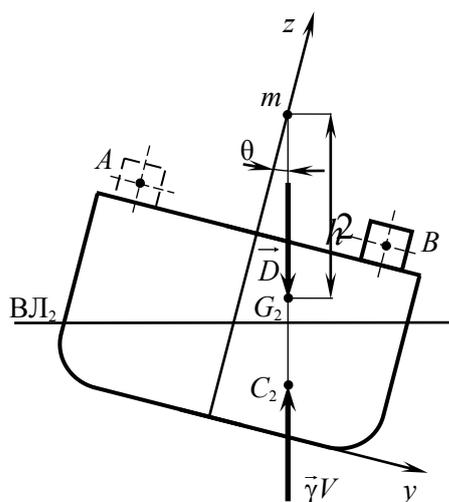


Рис. 5. Равновесие корабля после перемещения груза с его штатного места

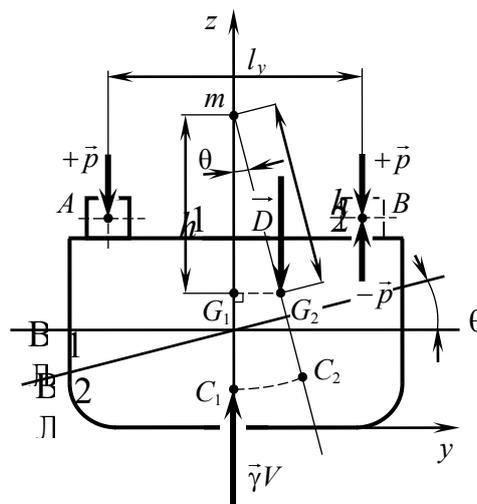


Рис. 6. Равновесие корабля после возвращения груза на его штатное место

8. Здесь попутно следует сделать небольшое уточнение, касающееся использования терминов «горизонтальное поперечное» и «горизонтальное продольное» перемещение груза, которые есть, например, в [3,4,5,7,8]. Уточнение будет относиться и к термину-синониму о перемещении груза, поперечном или продольном, «параллельно плоскости ватерлинии», который есть, например, в [2, с. 238].

Если сказать как в учебнике [7, с. 169], что «при горизонтально-поперечном переносе груза ... остойчивость не изменится», то может последовать естественный вывод: сколько бы раз груз не переносили на корабле горизонтально с борта на борт, его остойчивость не изменится. В действительности же каждое горизонтальное, т.е. параллельное плоскости ватерлинии, перемещение груза приводит к некоторому понижению ЦТ корабля и, как следствие, к увеличению его метацентрической высоты (в рамках начальной остойчивости). Если даже при каждом таком перемещении груза корабль наклоняется на малые углы так, что изменением остойчивости от каждого перемещения можно пренебречь, то в результате достаточно большого количества таких перемещений груза, он может оказаться глубоко в трюме. А это эквивалентно опусканию груза с верхней палубы вниз. Любое же перемещение груза вниз остойчивость корабля увеличивает (см., например, [7, с. 169]).

Понятно, что практически осуществить большое количество горизонтальных перемещений груза может оказаться сложно, так как для этого на каждом горизонтальном уровне нужно иметь место для фиксации груза. Но, тем не менее, всегда следует понимать, какой смысл вкладывается в термины «горизонтально-поперечное (горизонтально-продольное) перемещение» и «поперечное (продольное) перемещение вдоль палубы (по палубе, параллельно палубе)». Так, в опыте кренования, уместнее говорить не о горизонтально-поперечном перемещении грузов, а об их поперечных перемещениях по палубе.

9. В добавление к формулам (1), (6), (8), определяющим метацентрическую высоту  $h_2$ , дадим еще одно выражение для этой величины. В авторитетном справочнике [8, с. 83] указано, что после переноса груза в произвольном направлении (необязательно параллельно палубе) метацентрическая высота примет значение

$$h_2 = h_1 + \Delta y_G \sin \theta - \Delta z_G \cos \theta, \quad (10)$$

$\Delta z_G$  – смещение ЦТ корабля за счет вертикального перемещения груза. Если груз перенесен только по горизонтали ( $\Delta z_G = 0$ ), то [8, с. 84]

$$h_2 = h_1 + \Delta y_G \sin \theta. \quad (11)$$

В этой формуле, скорее всего, подразумевается, что при крене корабля высота  $h_1$  поворачивается вокруг метацентра как радиус окружности, по которой как будто бы смещается ЦТ корабля (см. рис. 2). Такое вращение вокруг метацентра приемлемо для метацентрического радиуса, так как при малых наклонениях корабля можно принять, что центр величины перемещается по дуге окружности [8, с. 51] – об этом говорилось в пункте 2. Но для метацентрической высоты, как видно из того же рис. 2, точнее было бы записать

$$h_2 = h_1 \cos \theta + \Delta y_G \sin \theta.$$

При этом нельзя сказать, что поскольку для малых углов крена  $\cos \theta \approx 1$ , то косинус в (11) был упущен. Если бы это было так, то косинуса не было бы и в (10) множителем при  $\Delta z_G$ . Но в (10) косинус при  $\Delta z_G$  учтен, а при  $h_1$  почему-то отсутствует.

Но сам факт существования в [8] формул (10), (11) является неявным признанием того, что авторы настоящей статьи не одиноки в своем мнении об увеличении начальной остойчивости корабля за счет смещения его ЦТ параллельно палубе.

О том, что остойчивость такого корабля изменилась, хотя и мало, сказано также в [9, с. 292, 293]. Однако в этой книге изменение метацентрической высоты не называется конкретно её увеличением.

**10.** Выйдем ненадолго за рамки начальной остойчивости. Это повлечет за собой обращение к диаграмме статической остойчивости.

В учебнике [7, с. 199] при обобщении задачи о перемещении груза на корабле на произвольные углы крена указано: «*После горизонтально-поперечного переноса груза с левого борта на правый (из точки А в точку В) ... её (т.е. диаграммы статической остойчивости – наше примечание) элементы при этом ухудшаются: уменьшаются угол заката, максимальный восстанавливающий момент и возникает угол крена. Элементы диаграммы при крене на противоположный борт соответственно улучшаются.*»

Аналогичное положение прописано, например, и в [5, с. 165]: «*... после переноса груза на правый борт ( $Y_2 > Y_1$ ) ... диаграмма остойчивости становится несимметричной: ухудшаются характеристики ее ветви для крена на правый борт и улучшаются для крена на левый борт.*»

На наш взгляд, приведенные процитированные положения (и аналогичные им в других учебниках и справочниках по теории корабля) могут еще более усугубить путаницу в мыслях и сбить с толку внимательного читателя.

*Во-первых*, если раньше в этих книгах утверждалось, что перемещение груза по палубе корабля не изменяет его начальной остойчивости (см. об этом пункт 1). То теперь, при увеличении крена корабля до произвольных углов, оказывается, что остойчивость корабля все же изменяется. При этом никаких оснований для скачкообразной смены остойчивости при переходе от малых углов наклона корабля к большим ни в каких книгах, конечно, не содержится. Последнее естественно, поскольку таких оснований объективно нет. И как выяснилось в предыдущих пунктах настоящей статьи, даже при малых наклонениях корабля за счет

смещения его ЦТ параллельно палубе метацентрическая высота соответственно мало, но тоже изменяется. Тем самым существует естественная преемственность в изменении остойчивости при наклонении корабля от малых углов к большим.

В этом аспекте существует еще одна полезность соотношения (1), которым теория начальной остойчивости обычно пренебрегает, считая различие между высотами  $h_2$  и  $h_1$  величиной излишнего порядка малости (см. об этом пункт 2).

*Во-вторых*, процитированные положения вступают в противоречие с нашими доводами. Как выяснилось в настоящей статье, если у корабля с прямой посадкой немного сместить ЦТ параллельно палубе, то его метацентрическая высота увеличится (и существует преемственность в ее изменении при произвольных углах крена). В свою очередь увеличение метацентрической высоты привычно и правильно воспринимается как улучшение остойчивости корабля. Однако, если принять во внимание процитированные в настоящем пункте 10 положения из [7,5], то может показаться, что не все так однозначно. А именно, получается, что увеличение метацентрической высоты приводит к тому, что при дальнейшем увеличении крена корабля элементы диаграммы статической остойчивости, а значит, и сама остойчивость корабля ухудшаются (по сравнению с остойчивостью корабля в прямой посадке). При крене же на противоположный борт остойчивость корабля улучшается.

Можно и вовсе не привязываться к *увеличению* метацентрической высоты (при смещении ЦТ корабля параллельно его палубе), а говорить лишь о том, что корабль при любом крене имеет только одну поперечную метацентрическую высоту, но никак не две и не более. Но следуя процитированным положениям из [7,5] можно непринужденно прийти к выводу о том, что эта единственная метацентрическая высота двойственно отражается на остойчивости корабля в зависимости от направления его крена. Может ли такое быть? Может ли метацентрическая высота иметь двойственный характер – и ухудшать и улучшать остойчивость корабля в связи с его креном на правый или левый борт?

Раскроем интригу этого вопроса в последующих наших публикациях по данной теме.

**11.** А из настоящей статьи уже видно, что традиционное изложение решения задачи о переносе груза по палубе корабля лишь на первый взгляд кажется простым и быстрым – в часто цитируемом нами учебнике [7] оно занимает всего лишь один абзац примерно на треть страницы. Но оказывается, что это простое решение влечет за собой массу моментов для обсуждения и уточнения. Закономерно регламентируемый объем статьи в настоящем журнале не смог бы вобрать в себя все наши заметки к рассматриваемой интересной задаче, поэтому их продолжение следует (в будущих наших публикациях по этой теме).

В данном пункте 11 отметим еще, что список использованной литературы к данной статье был составлен лишь из тех источников, которые были у нас под рукой. Наши критические заметки к положениям из этих книг совсем не означают, что эти книги неправильные и поэтому теперь недостойны внимания. В том числе, это касается и учебника [7], в основном, на примере которого в настоящей статье проводился анализ задачи о переносе груза на корабле. Наоборот, цитированные выше книги написаны достаточно добротной, наглядной, информативной. А наши заметки направлены на то, чтобы последующие издания по статике корабля были еще лучше для будущих читателей.

Также надеемся, что прочитав наши заметки, читатель сможет более осмысленно подойти к задаче о переносе груза на корабле, изложенной в книгах, не указанных нами.

И в качестве справочной информации сообщим, что совокупный тираж

• последних двух изданий учебника [1] составил 13 600 экз. (издание 1976 г. – 7 600 экз.;

издание 1973 г. – 6 000 экз.);

- двух изданий учебника [2] – 11 500 экз. (1959 г. – 6 500 экз., 1972 г. – 5 000 экз.);
- четырех изданий учебника [3] – 23 500 экз. (1961 г. – 5 000 экз., 1967 г. – 4 000 экз., 1974 г. – 5 000 экз., 1982 г. – 9 500 экз.).

Если же говорить об учебнике [7], то в 1964 г. он был издан тиражом 7 500 экз., а в 1976 г. – 18 500 экз. Но существуют еще книги

Кацман Ф.М., Дорогостайский Д.В. Теория судна и движители. – Л.: Судостроение, 1979. – 280 с. (тираж 11 300 экз.),

Теория и устройство судов / Ф.М. Кацман, Д.В. Дорогостайский, А.В. Коннов, Б.П. Коваленко. – Л.: Судостроение, 1991. – 416 с. (тираж 8 000 экз.),

которые не вошли в наш список использованной литературы и которые в части теории корабля близки к [7]. Так что процитированные нами фразы из [7] разошлись общим тиражом 45 300 экз., что для учебника по специальной дисциплине, наверное, не так уж и мало.

**12.** Везде выше в статье рассматривалось поведение корабля при малых углах крена. Укажем, что все полученные результаты справедливы и для малых углов дифферента, поскольку в этом случае теория начальной остойчивости имеет аналогичное содержание.

### Заключение

Если плавающее тело имеет круговые обводы, то углы крена могут быть и не малыми [1, с. 163]. Значительный крен можно рассматривать также у тел с прямостенными бортами [8, с. 52] (в пределах этой прямобортности). Исследование поведения таких специальных тел на воде имеет самостоятельный интерес, и для них наши заметки применимы в большей мере, чем для традиционных водоизмещающих судов.

Но и для последних теория начальной остойчивости имеет важное значение и поэтому приведена во всех книгах по статике корабля. С учетом этого, полагаем, что наши уточнения по *теории* начальной остойчивости корабля будут нести некоторую разъяснительную пользу. Тем самым свидетельствуя о том, что эта *теория* является «живой» наукой – в ней сохраняются дискуссионные вопросы, и она продолжает развиваться.

А с точки зрения *практических* расчетов остойчивости наши уточнения обычно не играют большой роли, поскольку изменение метацентрических высот при малых наклонениях корабля очень мало. За исключением указанных специальных тел метацентрической формулой поперечной начальной остойчивости, т.е. формулой (4), практически пользуются до углов крена корабля, не превышающих  $20^\circ$  [8, с. 52], но не более «углов входа в воду верхней палубы у борта или выхода из воды скулы судна» [7, с. 166].

Но все же рамки применимости теории начальной остойчивости устанавливаются для каждого судна индивидуально. Так, у морских «танкеров и сухогрузов с большой начальной остойчивостью» углы крена для этой теории могут достигать  $30^\circ$  [6, с. 10]. Для крена  $30^\circ$  высота  $h_2$  будет больше высоты  $h_1$  согласно (1) в 1,155 раза (или на 15,5 %). А если рассматривать более умеренный и более отвечающий теории крен в  $20^\circ$ , то согласно (1) высота  $h_2$  будет больше высоты  $h_1$  лишь в 1,064 раза (или на 6,4 %), что можно считать незначительным для практики расхождением. Полагая же, что при малых углах крена  $\sin \theta \approx \theta$  и  $\operatorname{tg} \theta \approx \theta$ , видим, что различие между формулами (8) и (9) исчезает (если не принимать во внимание, что тангенс квазилинеен до больших углов по сравнению с синусом).

Поэтому данная наша статья имеет более методический характер. Это отражено в её названии, которое начинается со слов «Методические заметки». И отправной посыл к её написанию в основном замыкался на методику изложения студентам задачи о перемещении груза на корабле. Нам представляется, что лучше все-таки не говорить, что вследствие поперечного и продольного перемещения груза на корабле его начальная остойчивость не изменяется – см. цитаты из учебников в пункте 1. А уместнее отметить, что изменение остойчивости происходит. Однако при малых наклонениях корабля этим изменением практически можно пренебречь, где акцент сделать на слове «практически».

#### Список литературы

1. Семенов-Тянь-Шанский В.В. Статика и динамика корабля. Л.: Судпромгиз, 1960. 576 с.
2. Алферьев М.Я. Теория корабля. М.: Транспорт, 1972. 448 с.
3. Лесюков В.А. Теория и устройство судов внутреннего плавания. М.: Транспорт, 1982. 303 с.
4. Мирохин Б.В., Жинкин В.Б., Зильман Г.И. Теория корабля. Л.: Судостроение, 1989. 352с.
5. Сизов В.Г. Теория корабля. О.: Фенікс; М.: ТрансЛит, 2008. 464 с.
6. Аксютин Л.Р. Контроль остойчивости морских судов. Одесса: Фенікс, 2003. 178 с.
7. Дорогостайский Д.В., Жученко М.М., Мальцев Н.Я. Теория и устройство судна. Л.: Судостроение, 1976. 416 с.
8. Справочник по теории корабля: В трех томах. Том 2. Статика судов. Качка судов / Под ред. Я.И. Войткунского. Л.: Судостроение, 1985. 440 с.
9. Власов В.Г. Собрание трудов: В семи томах. Том 6. Л.: Судпромгиз, 1961. 412 с.
10. Тарг С.М. Каткий курс теоретической механики. М.: Высш. шк., 1995. 416 с.

#### References

1. Semenov-Tyan-Shanskii V.V. Statika i dinamika korablya [Statics and dynamics of the ship]. L.: Sudpromgiz, 1960. 576 p. (In Russ.).
2. Alfer'ev M.Ya. Teoriya korablya [Theory of the ship]. M.: Transport, 1972. 448 p. (In Russ.).
3. Lesyukov V.A. Teoriya i ustroistvo sudov vnutrennego plavaniya [Theory and design of inland navigation vessels]. M.: Transport, 1982. 303 p. (In Russ.).
4. Mirokhin B.V., Zhinkin V.B., Zil'man G.I. Teoriya korablya [Theory of the ship]. L.: Sudostroenie, 1989. 352 p. (In Russ.).
5. Sizov V.G. Teoriya korablya [Theory of the ship]. O.: Feniks, 2008. 464 p. (In Russ.).
6. Aksyutin L.R. Kontrol' ostoichivosti morskikh sudov [Control of stability of sea vessels]. Odessa: Feniks, 2003. 178 p. (In Russ.).
7. Dorogostaiskii D.V., Zhuchenko M.M., Mal'tsev N.Ya. Teoriya i ustroistvo sudna [Theory and design of the vessel]. L.: Sudostroenie, 1976. 416 p. (In Russ.).
8. Spravochnik po teorii korablya: V trekh tomakh. Tom 2. Statika sudov. Kachka sudov [Handbook of Ship Theory: In three volumes. Volume 2. Ship statics. Tossing of ships] / Pod red. Ya.I. Voitkunskogo. L.: Sudostroenie, 1985. 440 p. (In Russ.).
9. Vlasov V.G. Sbranie trudov: V semi tomakh. Tom 6 [Collected works: In seven volumes. Volume 6]. L.: Sudpromgiz, 1961. 412 p. (In Russ.).
10. Targ S.M. Katkii kurs teoreticheskoi mekhaniki [A short course in theoretical mechanics]. M.:Vyssh. shk., 1995. 416 p. (In Russ.).

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Ковалев Александр Николаевич**, к.т.н.,  
доцент, доцент кафедры «Гидро-  
аэродинамика, прочность машин и  
сопротивление материалов»  
Нижегородского государственного

**Aleksandr N. Kovalev**, Ph.D. (Eng.),  
Associate Professor, Associate Professor of the  
Department «Hydro-aerodynamics, strength of  
machines and resistance of materials», Nizhny  
Novgorod State Technical University n.a. R.E.

технического университета им. Р.Е.  
Алексеева, 603950, г. Нижний Новгород, ул.  
Минина, д. 24, e-mail: kovalev@nntu.ru

**Ковалев Федор Николаевич**, д.т.н.,  
доцент, старший научный сотрудник  
«Федерального исследовательского центра  
Институт прикладной физики им. А.В.  
Гапонова-Грехова РАН», 603950, г. Нижний  
Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, д. 46;  
профессор кафедры «Радиотехника»  
Национального исследовательского  
Нижегородского университета им. Н.И.  
Лобачевского, 603022, г. Нижний Новгород,  
пр. Гагарина, д. 23, e-mail:  
kovalyov@ipfran.ru

Alekseyev, 24, Minin str., Nizhny Novgorod,  
603950, e-mail: kovalev@nntu.ru

**Fedor N. Kovalev**, Dr. Sci. (Eng.), Associate  
Professor, Institute of Applied Physics of the  
Russian Academy of Sciences, 46, Ulyanov  
str., Nizhny Novgorod, 603950; Professor of  
the Department «Radio engineering», Nizhny  
Novgorod State University n.a. N.I.  
Lobachevsky, 23, Gagarin av., Nizhny  
Novgorod, 603022, e-mail:  
kovalyov@ipfran.ru

Статья поступила в редакцию 28.05.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 28.05.2023; published online 20.09.2023.

УДК 629.5

DOI 10.37890/jwt.vi76.386

## **Алгоритм проектирования судов обеспечения подводно-технических работ методом базы данных**

**М. П. Лебедева**<sup>1</sup>

**О. М. Абдуллаев**<sup>2</sup>

*ORCID:0009-0003-3593-5375*

<sup>1</sup>*Государственный Университет Морского и Речного Флота им. С.О.Макарова, С.-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Каспийский Морской Транспортный Проектно-Изыскательный и Научно-Исследовательский Институт (КАСПМОРНИИПРОЕКТ), Баку, Азербайджан*

**Аннотация.** В настоящей работе сформирован алгоритм проектирования судов обеспечения подводно-технических работ с использованием базы данных близких по назначению судов. Алгоритм проектирования предусматривает выбор компоновки проектируемого судна путем зонирования помещений, выбор формы обводов путем формирования оптимальной поверхности проектируемого судна и, как следствие, получения предварительной эффективной мощности главного двигателя и поперечной метацентрической высоты с аппроксимацией соотношений. Выведена модель предварительной оценки весовой нагрузки проектируемого судна для формирования весовой нагрузки. Исследования, связанные с выбором компоновки судна, формы обводов корпуса и оценки весовой нагрузки дали возможность создать блок-схему формирования главных размерений проектируемого судна. Важным элементом разработанной блок-схемы, является процесс оптимизации расчета главных размерений судна. Выбрав критерии оптимизации и варьируемые элементы, авторы сформировали математическую модель оптимизации главных размерений.

**Ключевые слова:** Подводно-технические работы, суда обеспечения, зонирование помещений, судовая поверхность, поперечный метацентр, мощность главного двигателя, весовая нагрузка, база данных, алгоритм, критерии оптимизации

## **Algorithm for designing vessels for underwater technical operations using database method**

**Marina P. Lebedeva**<sup>1</sup>

**Oyrad M. Abdullayev**<sup>2</sup>

*ORCID:0009-0003-3593-5375*

<sup>1</sup>*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping*

<sup>2</sup>*Design-Research and Scientific-Investigation Institute of Caspian Sea Transport. AZ1003. Baku. Azerbaijan*

**Abstract.** In the given paper, an algorithm for designing vessels for underwater technical operations support using a database of vessels similar in purpose is created. As a part of an algorithm of design the configuration choice of the designed vessel by zoning and characteristic of rooms, the choice of a form of contours by formation of an optimum surface of the designed vessel and as a result of obtaining preliminary effective power of the main engine and cross metacentric height with approximation of result is provided. The model for the preliminary assessment of the weight load of the designed vessel for the formation of the weight load is derived. Studies related to the choice of the layout of the vessel, the shape of the hull contours and the assessment of the weight load made it possible to create a block diagram of the formation of the main dimensions of the designed vessel. An important element of the developed block diagram is the process of optimizing the calculation of the

main dimensions of the ship. Having chosen optimization criteria and variable elements, the authors have formed a mathematical model for optimizing the main dimensions.

**Keywords:** underwater technical operation, support vessels, compartment zoning, ship surface, cross metacenter, main engine power, weight load, database, algorithm, optimization criteria

### Ведение

Алгоритм проектирования судов обеспечения подводно-технических работ является многокритериальной задачей, служащей созданию нового качественного и безопасного в эксплуатации судна, способного выполнять возложенные на него технологические функции. Во многих источниках были описаны отраженные в настоящей работе методы формирования компоновки судна [4, 6, 7], выбор формы обводов [3,4], оценка весовой нагрузки [5, 8], расчет и выбор главных размерений [1, 2] с учетом критериев эффективности [2, 9, 10] в основном для транспортных судов. В настоящей работе рассмотрены формирование облика судов обеспечения подводно-технических работ, заключающегося в выборе компоновки, формы обводов корпуса и проведении оценки весовой нагрузки с использованием базы данных близких по назначению судов. Главные размерения проектируемого судна предполагается формировать по блок-схеме, отражающей расчетный алгоритм, описанный с учетом выбранных критериев оптимизации.

При формировании облика судов обеспечения подводно-технических работ предполагается создание компоновки с разработкой схемы зонирования помещений, формы обводов корпуса, с проведением анализа скорости проектируемого судна и поперечной метацентрической высоты, а также оценки весовой нагрузки с использованием базы данных близких по назначению судов.

### Выбор компоновки судна

Суда обеспечения подводно-технических работ относительно других типов судов мирового флота строятся мелкими партиями и являются в основном единичными проектами. При рассмотрении группы судов этого класса предлагается систематизация компоновки судов обеспечения подводно-технических работ, составляя схему зонирования (см. рис. 1).

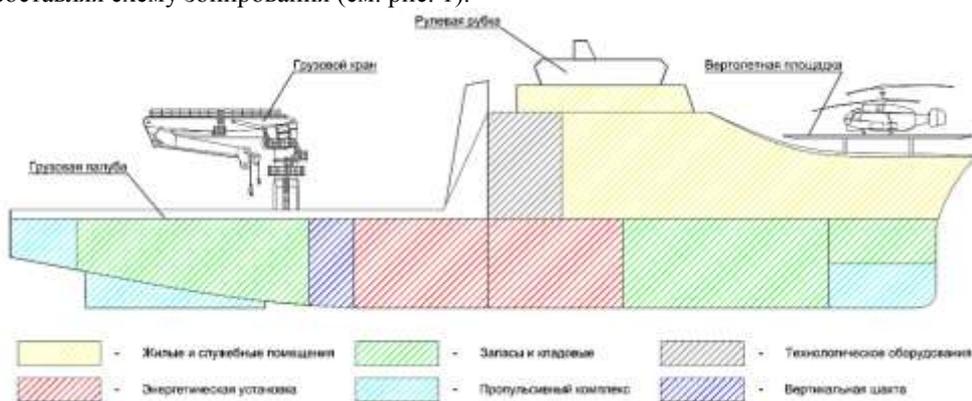


Рис. 1. Схема зонирования помещений судов обеспечения подводно-технических работ



Рис. 2. Структурная схема формирования компоновки судов обеспечения подводно-технических работ

Схема зонирования помещений (см. рис. 1), отражает требуемые элементы судов обеспечения подводно-технических работ для полноценного выполнения технологических задач, функционирования экипажа и спец. персонала на борту.

Структурная схема компоновки судов обеспечения подводно-технических работ (см. рис. 2), представляет схематизированную модель проектируемого судна. В состав структурной схемы входят перечисленные ниже элементы:

Жилые и служебные помещения – для полноценного проживания и работы экипажа судна, спец. персонала и временно находящихся на борту персонала, с условием соблюдения всех необходимых норм и правил.

Энергетическая установка – для стабильного и безопасного обеспечения судна механической, тепловой и электрической энергиями.

Вертикальная шахта – при использовании на судне мобильного технологического оборудования.

Грузовая палуба – для размещения технологического оборудования и использования при проведении грузоперевозок на морском нефтепромысле.

Грузовой кран – на судах обеспечения подводно-технических работ с возможностью погружения гака под воду на требуемую глубину.

Запасы и кладовые – для размещения продовольственных запасов, дополнительного оборудования и запасных частей обеспечивающих заданную автономность.

Пропульсивная установка – для обеспечения судну необходимой скорости, маневренности и позиционирования при выполнении морских операций.

Технологическое оборудование – для размещения спуско-подъемных устройств для подводных аппаратов ТНПА/АНПА, ангары для хранения аппаратных средств и грузовая палуба для установки мобильного технологического оборудования.

Вертолетная площадка – предусмотрена для операций с вертолетом.

Рулевая рубка – как и на судах других типов, предусматривается для обеспечения безопасного управления судном.

### **Выбор формы обводов**

При проектировании, на этапе выбора формы обводов, с учетом условий эксплуатации, для получения необходимых ходовых и мореходных качеств проектируемого судна производится выбор формы обводов корпуса судна. Это можно сделать, используя базу данных, опубликованную в Справочнике по теории корабля [1]



Рис. 3. Структурная схема формирования поверхности судов обеспечения подводно-технических работ

Как видно из структурной схемы, (см. рис. 3), в работе предполагается, при разработке поверхности на раннем этапе проектирования, получить предварительную величину поперечной метацентрической высоты и потребной эффективной мощности главных двигателей. Математическая модель рассматриваемых выражений отражены в функциях (1) и (2).

$$h = f(B, C_b) \quad (1)$$

$$N_p = L f(B, T, C_b, v) \quad (2)$$

Принимая главные параметры формы обводов проектируемого судна ( $L/B$ ,  $B/T$ ,  $C_b$ ), с использованием программного обеспечения «Delft Ship», были сформированы группы судов обеспечения подводно-технических работ по форме обводов, различающихся главными размерениями. Как результат, из сформированных поверхностей с использованием расчетного модуля программы получены значения эффективных мощностей главных двигателей и поперечные метацентрические высоты. Ниже (см. рис. 4 – 7) приведены семейства кривых эффективной мощности при различной скорости хода для судов с различными главными размерениями.

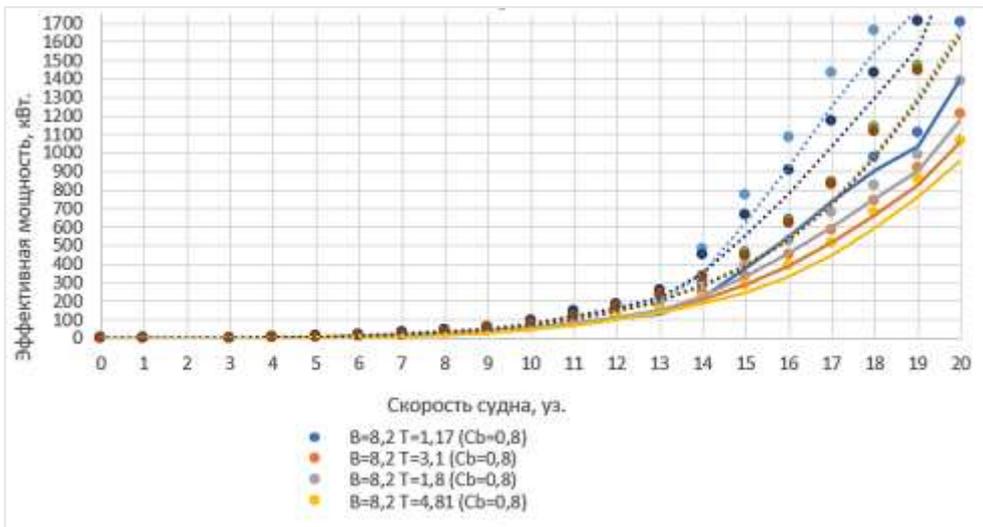


Рис. 4(а). Соотношение скорости и эффективной мощности при  $L=50\text{м.}$ ,  $C_b=0.8$ .

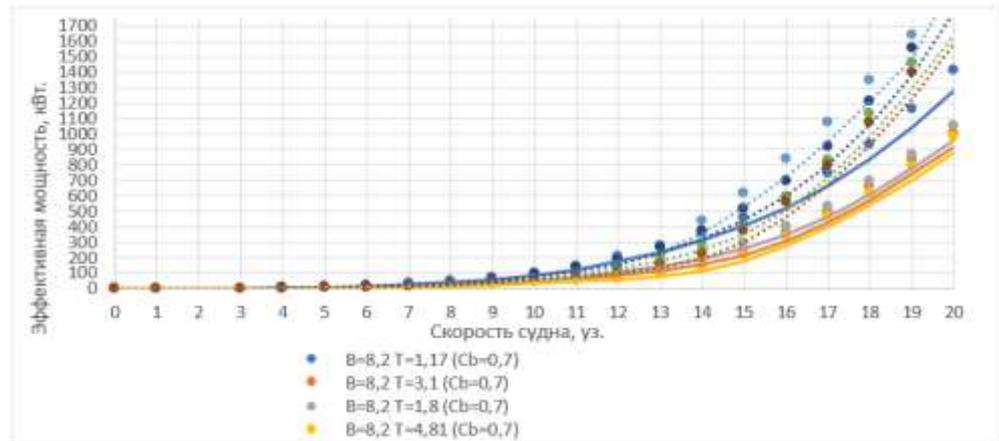


Рис. 4(б). Соотношение скорости и эффективной мощности при  $L=50\text{м.}$ ,  $C_b=0.7$ .

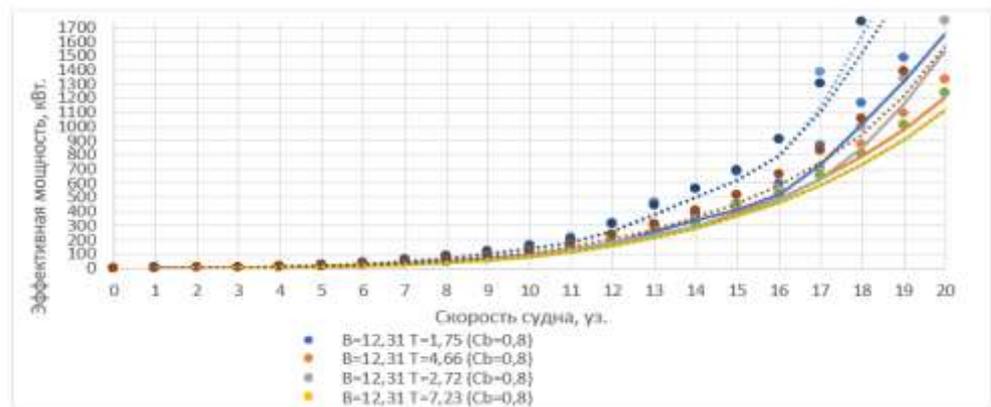


Рис. 5(а). Соотношение скорости и эффективной мощности при  $L=75\text{м.}$ ,  $C_b=0.8$ .

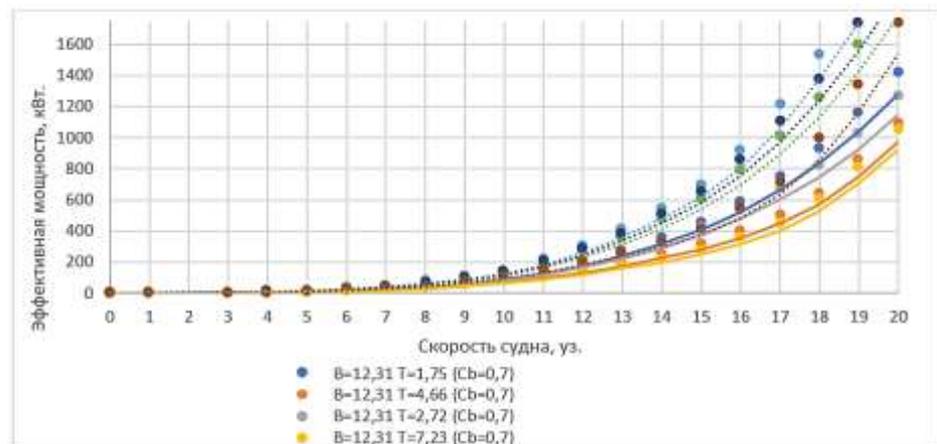


Рис. 5(б). Соотношение скорости и эффективной мощности при  $L=75\text{м.}$ ,  $C_b=0.7$ .

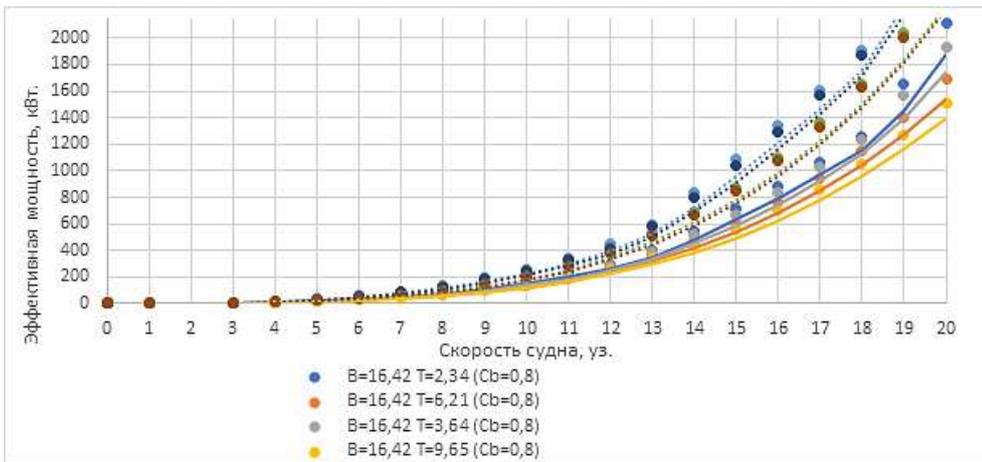


Рис. 6(а). Соотношение скорости и эффективной мощности при  $L=100\text{м.}$ ,  $C_b=0.8$ .

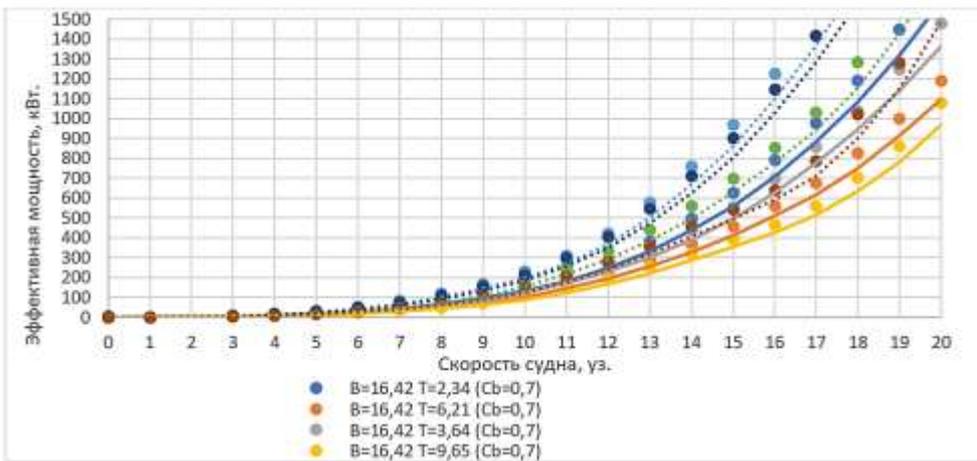


Рис. 6(б). Соотношение скорости и эффективной мощности при  $L=100\text{м.}$ ,  $C_b=0.7$ .

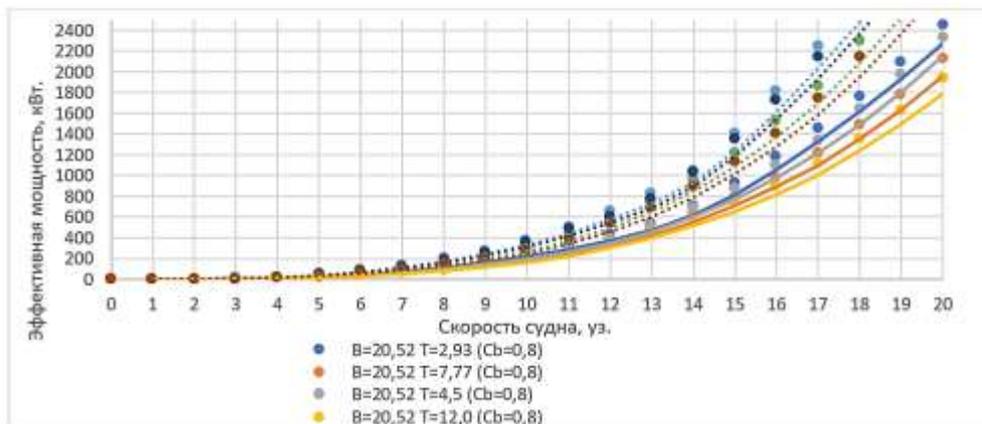


Рис. 7(а). Соотношение скорости и эффективной мощности при  $L=125\text{м.}$ ,  $C_b=0.8$ .

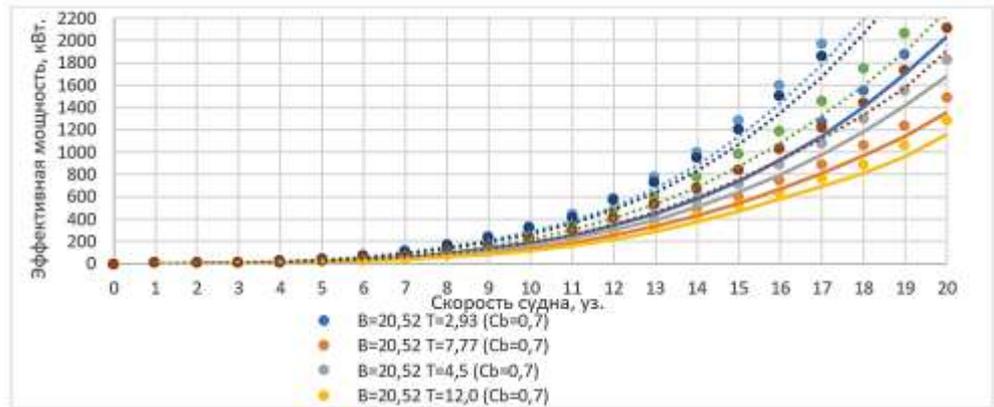


Рис. 7(б). Соотношение скорости и эффективной мощности при  $L=125$ м.,  $C_b=0.7$ .

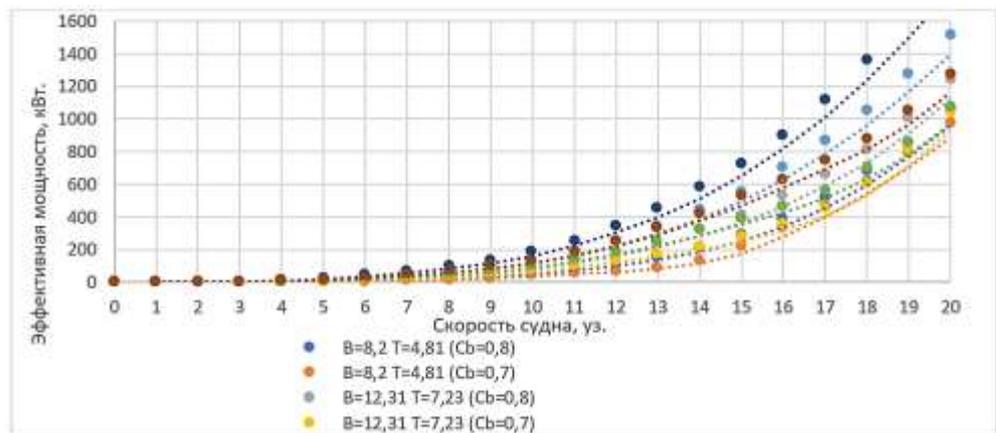


Рис. 8. Соотношение минимальной скорости и эффективной мощности судов обеспечения подводно-технических работ.

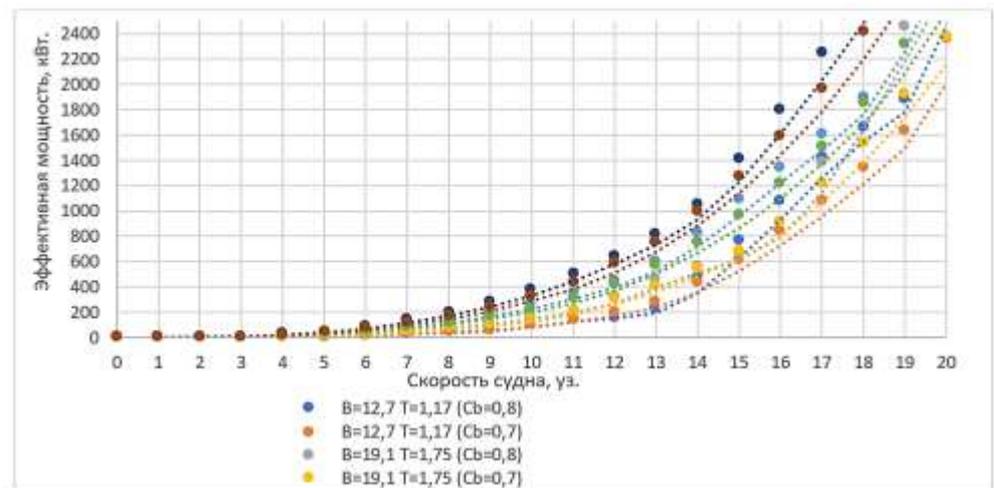


Рис. 9. Соотношение максимальной скорости и эффективной мощности судов обеспечения подводно-технических работ.

Выше (см. рис. 8 и 9), были отражены соотношения минимальной и максимальной эффективной мощности главных двигателей. Корпуса моделей показаны ниже на рисунках 10 и 11.

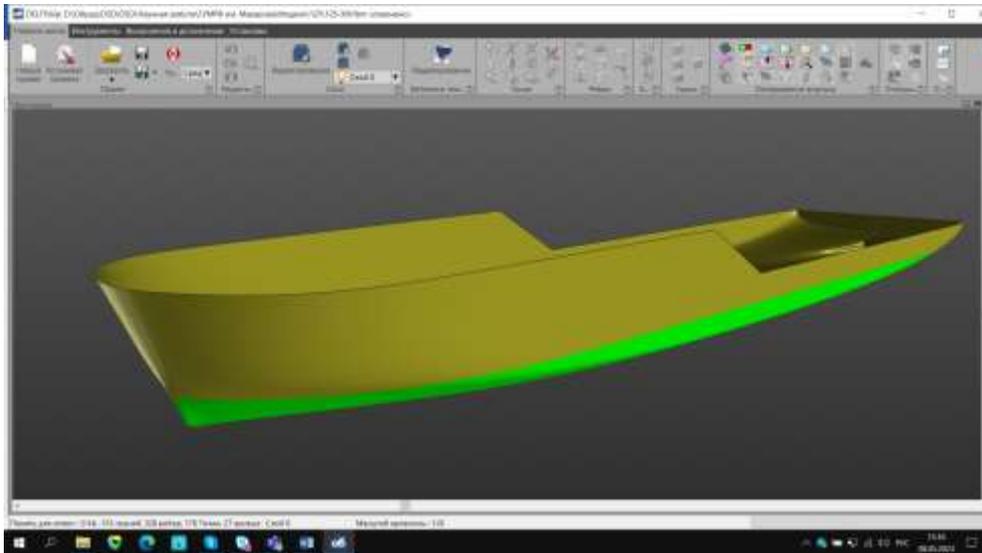


Рис. 10. Модель поверхности с минимальным значением эффективной мощности.

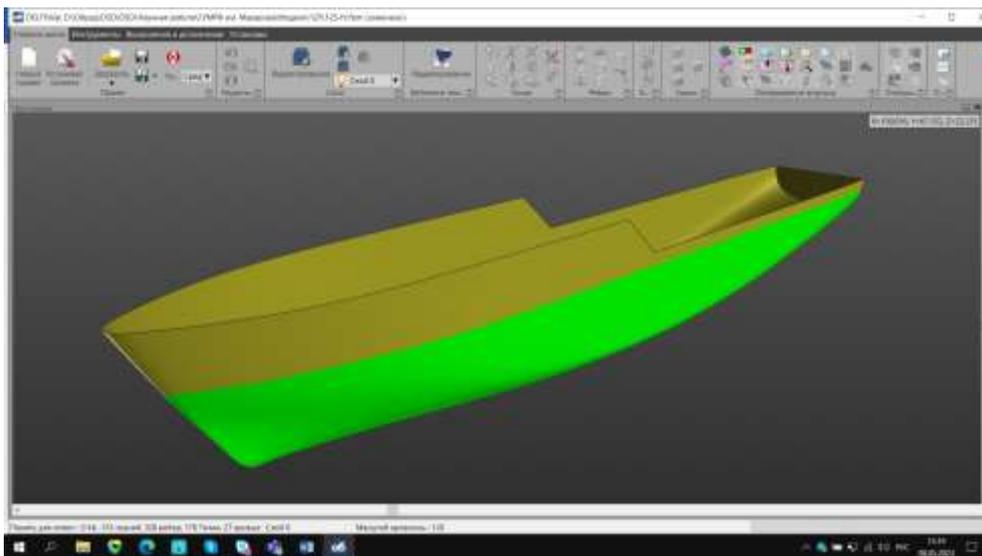


Рис. 11. Модель поверхности с максимальным значением эффективной мощности.

Результаты расчетов поперечной метацентрической высоты для различной осадки судна приведены на рисунках 12 – 15. Данные получены с помощью расчетного модуля «Delft Ship» для поверхностей и сравнительных расчетных, данных полученных из выражения (3).

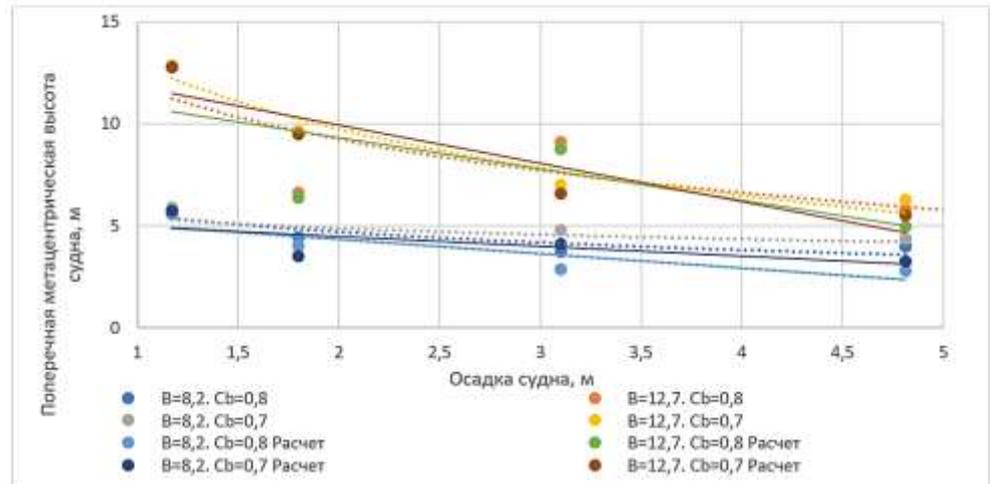


Рис. 12. Соотношение поперечной метацентрической высоты и осадки судна при L=50м.

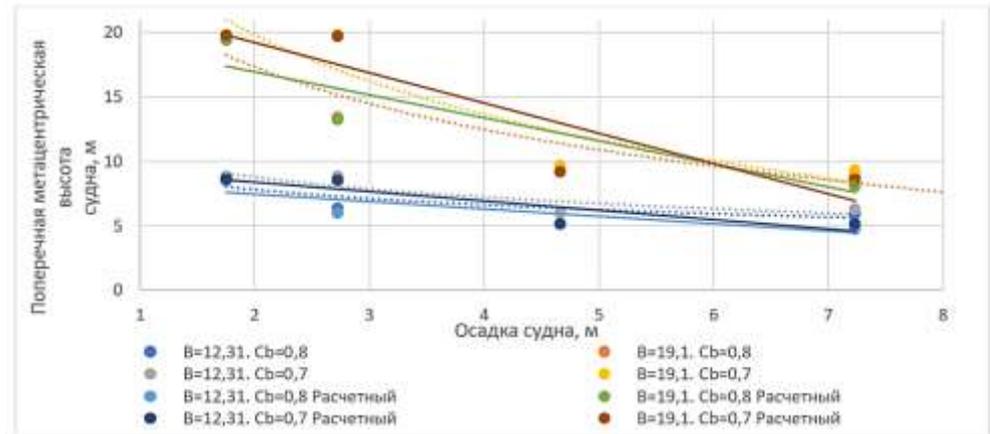


Рис. 13. Соотношение поперечной метацентрической высоты и осадки судна при L=75м.

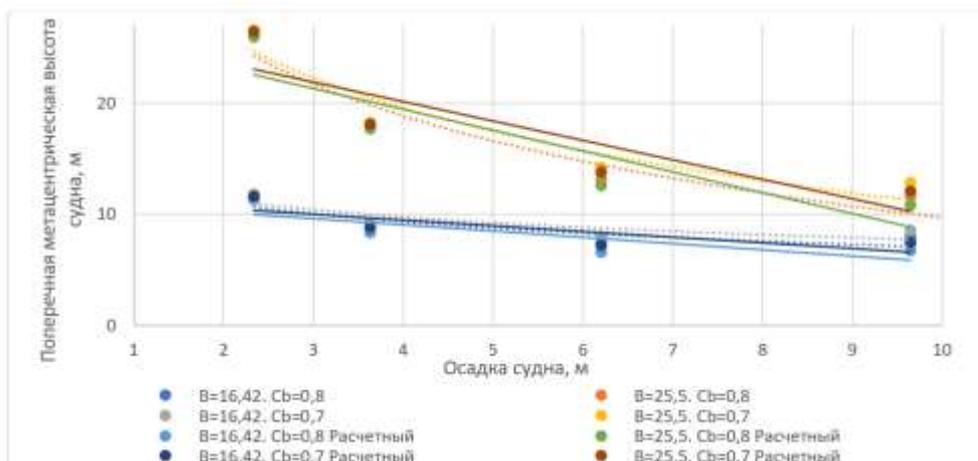


Рис. 14. Соотношение поперечной метацентрической высоты и осадки судна при L=100м.

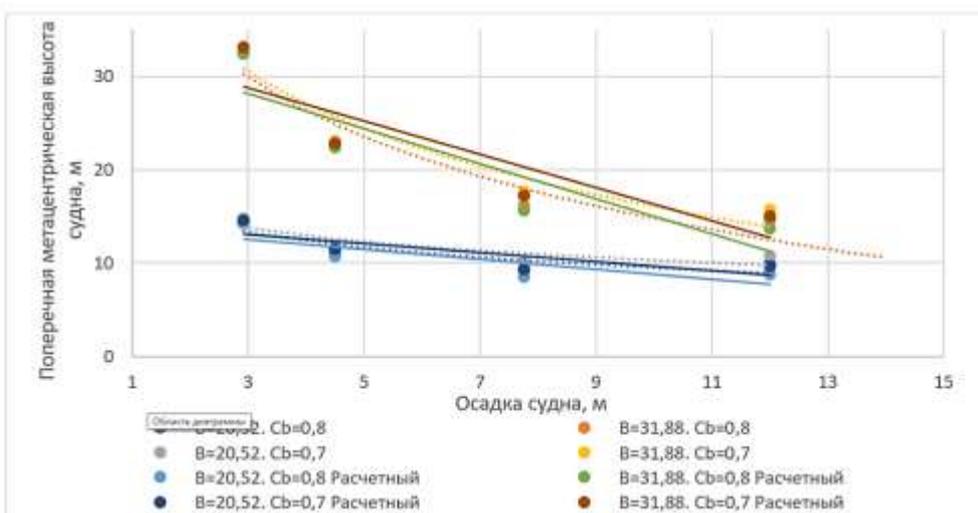


Рис. 15. Соотношение поперечной метацентрической высоты и осадки судна при L=125м.

На основе анализа данных, приведенных на рисунках 12 – 15, можно предложить упрощенную формулу зависимости метацентрической высоты от осадки судна, используя базу данных. Формула имеет вид

$$h = b \cdot h_{БД} - T/h_{БД} \tag{3}$$

Где:

$h$  – поперечная метацентрическая высота;

$h_{БД}$  – поперечная метацентрическая высота из базы данных близких по назначению судов;

$T$  – осадка проектируемого судна;

$b$  – коэффициент корреляции учитывающая закономерность рассматриваемых соотношений, определяемая по формуле (5);

$T/h_{БД}$  – соотношение осадки и поперечной метацентрической высоты из базы данных, определяемое по формуле (4).

$$T/h = \sum_{i=1}^n \bar{T} - b \sum_{i=1}^n h_{\text{БД}} \quad (4)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (h_{\text{БД}} - \bar{h}_{\text{БД}})(T - h_{\text{БД}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (h_{\text{БД}} - \bar{h}_{\text{БД}})^2 \sum_{i=1}^n (T - \bar{T})^2}} \quad (5)$$

### Оценка весовой нагрузки

Для обеспечения качественной постройки и эксплуатации судна на этапе раннего проектирования обычно выполняется оценка весовой нагрузки. В нашем случае, учитывая уникальность судов обеспечения подводно-технических работ, при проектировании с использованием базы данных близких по назначению судов, предлагается формировать нагрузку масс по статьям, используя схему, (отраженную на рис. 16).

Математическая модель формирования весовой нагрузки отражена в функции (6).

$$M = \sum_{i=1}^m f(m_i) \quad (6)$$

где:

M – полная весовая нагрузка;

$m_i$  – весовая нагрузка  $i$ -ой статьи.

При проектировании судна, используя базу данных близких по назначению судов, для оценки распределения нагрузки масс по статьям можно воспользоваться схемой, приведенной на рисунке 17.



Рис. 16. Структурная схема формирования весовой нагрузки судов обеспечения подводно-технических работ

Рассчитать нагрузку масс для судов разного водоизмещения можно по формуле (7)

$$m_i = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta - \bar{\Delta}_i)(M - \bar{M})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta - \bar{\Delta}_i)^2 \sum_{i=1}^n (M - \bar{M})^2}} \right) * \Delta - \left( \sum_{i=1}^n M - b * \sum_{i=1}^n \Delta_i \right) \quad (7)$$

Где:

$m_i$  – значения нагрузки масс по статьям ( $m_K, m_{C.Y.}, m_C, m_{Y.Э.}, m_Э, m_B, m_З, m_{З.В.}, m_{Ж.Г.}, m_{снаб.}$ );

$m_K$  – масса корпуса;

$m_{C.Y.}$  – масса судовых устройств;

$m_C$  – масса судовых систем;

$m_{Y.Э.}$  – масса энергетической установки;

$m_Э$  – масса электрических систем;

$m_B$  – масса вооружения;

$m_З$  – масса запасные части;

$m_{З.В.}$  – масса запаса водоизмещения;

$m_{Ж.Г.}$  – масса постоянных жидких грузов;

$m_{снаб.}$  – масса снабжения и имущество;

$\Delta$  – водоизмещения;

$b$  – коэффициент корреляции (8).

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta - \bar{\Delta}_i)(M - \bar{M})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta - \bar{\Delta}_i)^2 \sum_{i=1}^n (M - \bar{M})^2}} \quad (8)$$

Распределение нагрузки масс по статьям для судов разного водоизмещения приведено на рисунке 17.

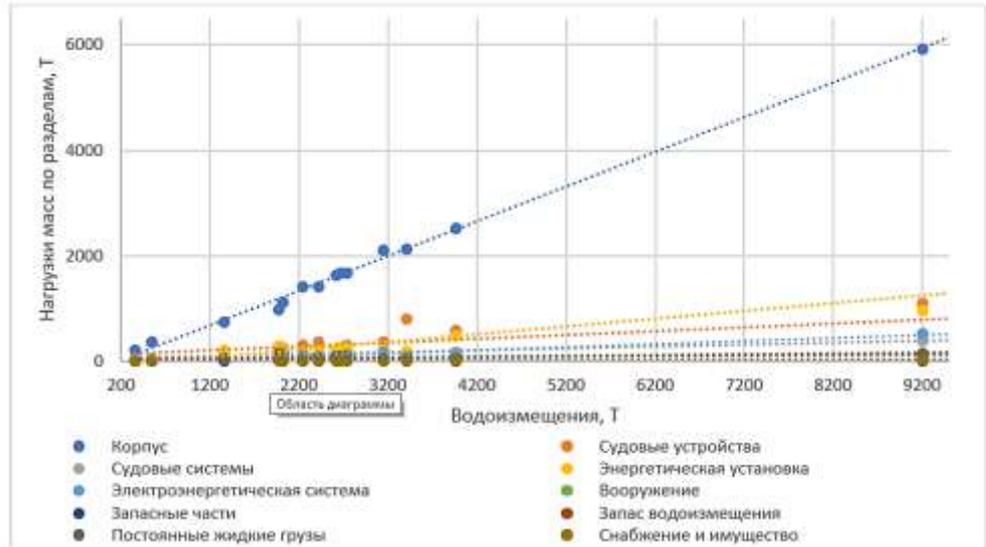


Рис.17. Соотношения нагрузки масс по статьям и водоизмещения специализированных судов [11]

Используя формулу (7), на ранних этапах проектирования можно определить в первом приближении значение нагрузки масс статей водоизмещения по отдельности.

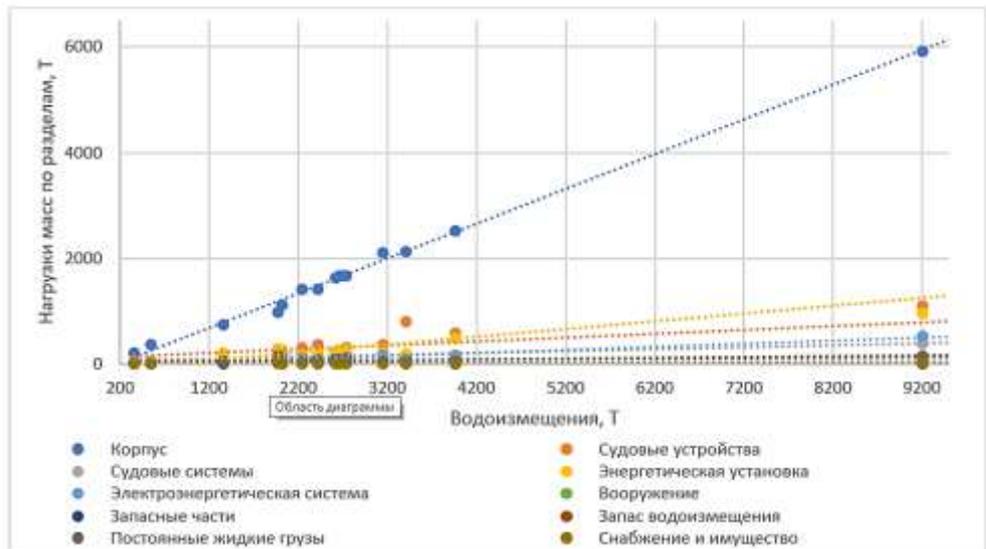


Рис.18. Расчетное соотношения нагрузки масс по статьям водоизмещения специализированных судов [12]

### Выбор главных размерений

Используя базу данных близких по назначению судов, предлагается рассчитывать главные размерения проектируемого судна на ранних этапах проектирования, с использованием алгоритма, отраженного в блок-схеме (см. рис. 19). При расчете главных размерений в алгоритме, используются формулы и математические модели, описанные в работах [10, 11]. Размер площади грузовой палубы связан с габаритами планируемого к применению технологического оборудования, аппаратных средств и комплексов, отражается в формуле (9):

$$S_{Г.п.} = (Bf(S_{В.к.})) + S_{Р.г.п.} \quad (9)$$

Здесь:

$S_{Г.п.}$  – площадь грузовой палубы;

$B$  – ширина судна;

$S_{Т.О.}$  – площадь технологического оборудования;

$S_{Р.г.п.}$  – площадь рабочей части грузовой палубы.

Здесь в качестве вводных данных блок-схемы приведены:

- $L$  – расчетная длина судна, м;
- $L/B$  – соотношение длина/ширина;
- $B/T$  – соотношение ширина/осадка;
- $j$  – плотность морской воды;
- $v$  – заданная скорость судна, уз.;
- $S_{Т.О.}$  – площадь занимаемая технологическим оборудованием, м<sup>2</sup>;
- $S_{В.к.}$  – площадь занимаемая водолазным комплексом, м<sup>2</sup>;
- $S_{РОВ/АОВ}$  – площадь занимаемая аппаратными средствами, м<sup>2</sup>;
- $S_{МС.}$  – площадь, занимаемая обитаемыми подводными аппаратами, м<sup>2</sup>;
- $T_{АВТ.}$  – задаваемый срок автономности судна, сут.;
- $G$  – грузоподъемность крана, т.;
- $L_{СТРЕЛЫ}$  – вылет стрелы крана, м.

Ниже приведены сокращения, отраженные в блок-схеме со ссылкой на источники расчетных формул:

- Г.П. – грузовая палуба (9);
  - В.К. – водолазный комплекс [10];
  - Р.Г.У. – грузоподъемное устройство [10];
  - $B$  – ширина судна [10];
  - $T$  – осадка судна [11];
  - $C_b$  – коэффициент общей полноты [11];
  - А.С. – аппаратные средства [10];
  - ОПА – обитаемый подводный аппарат [10];
  - Т.О. – технологическое оборудование [10];
  - В.Ш. – вертикальная шахта;
  - $M$  – весовая нагрузка [11];
  - $N_{ГЭУ}$  – мощность главной энергетической установки;
  - $B_{М.О.}$  – ширина машинного отделения;
  - $n_i$  – количество устанавливаемых главных дизель-генераторов;
  - $S_{ЭУ}$  – запасы энергетической установки;
  - $N_p$  – мощность главных двигателей, кВт. (2);
  - $m$  – поперечная метацентрическая высота (1);
  - $v$  – расчетная скорость судна [11];
  - $\Delta$  – водоизмещение судна [11].
- Результатом расчетов в блок-схеме, являются значения, приведенные ниже:

- $B$  – ширина судна, м;
- $T$  – осадка судна, м;
- $H$  – высота борта, м;
- $C_b$  – коэффициент общей полноты;
- $\Delta$  – водоизмещение судна, т.;
- $N_{Г.Э.У.}$  – мощность главной энергетической установки, кВт;
- $S_{Г.П.}$  – площадь грузовой палубы,  $m^2$ ;
- $S_{Э.У.}$  – запасы энергетической установки,  $m^3$ ;
- $S_{МР}$  – площадь поперечного сечения вертикальной шахты,  $m^2$ ;
- $S_{АВТ.}$  – расчетная автономность судна по запасам энергетической установки, сут.;
- $M_i$  – элементы весовой нагрузки;
- $n_i$  – количество устанавливаемых главных дизель-генераторов.

### Критерии эффективности

Для получения оптимальных значений главных размерений проектируемого судна на ранних этапах проектирования, предполагается получить оптимальное значение ширины и осадки судна. Задача оптимизации отражена в графической схеме (см. рис. 20).

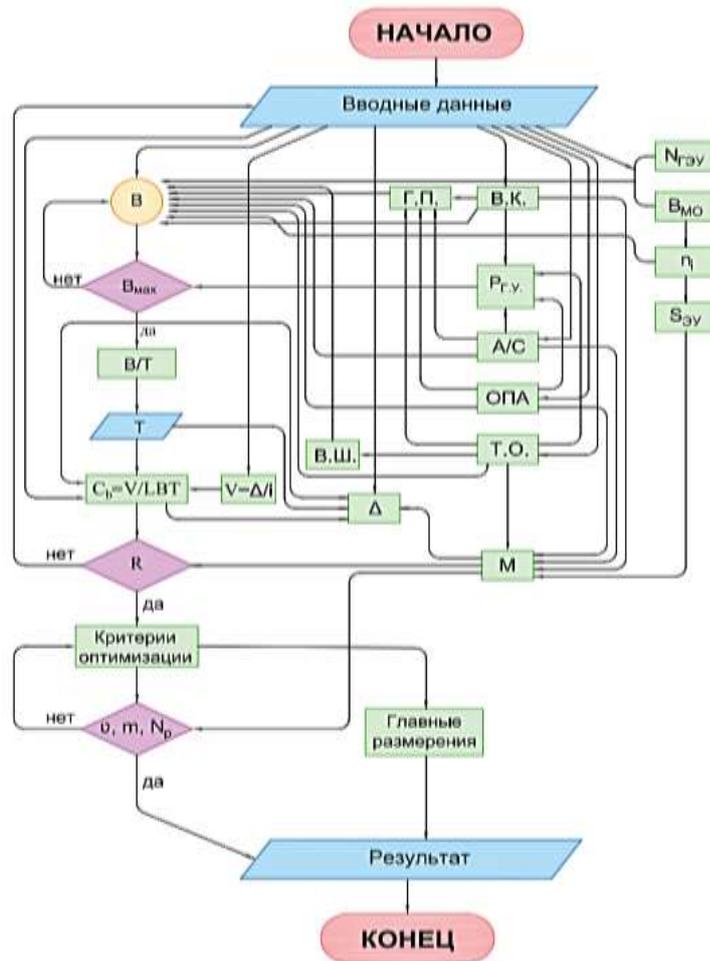


Рис. 19. Блок-схема расчета главных размерений проектируемого судна

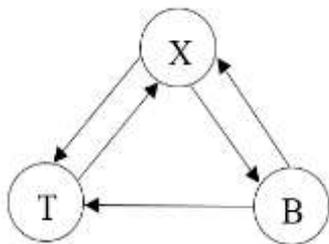


Рис. 20. Графическая модель взаимодействия критерии оптимизации и варьируемых элементов

Здесь:

X – варьируемые элементы (L/B, B/T, G, L<sub>СТРЕЛЫ</sub>);

L/B – соотношение длина/ширина;

B/T – соотношение ширина/осадка;

G – грузоподъемность крана, т.;

L<sub>СТРЕЛЫ</sub> – вылет стрелы крана, м;

S<sub>Г.П.</sub> – площадь грузовой палубы, м<sup>2</sup>;

B<sub>М.О.</sub> – ширина машинного отделения, м;

B – T – критерии оптимизации (соответственно ширина и осадка судна).

Ниже в формулах (9) и (10), отражены функции модели оптимизации ширины и осадки судна:

$$B_{(X)} = Cf \left( \sum_{n=1}^n X_B \right) \rightarrow B_{max} \quad (9)$$

$$T_{(X)} = (C + B)f \left( \sum_{n=1}^n X_T \right) \rightarrow T_{max} \quad (10)$$

Здесь:

C – постоянные значения задачи оптимизации (L, j, v, S<sub>Т.О.</sub>, S<sub>В.К.</sub>, S<sub>РОВ/АОВ</sub>, S<sub>MS</sub>, T<sub>АВТ.</sub>);

L – расчетная длина судна, м;

j – плотность морской воды;

v – заданная скорость судна, уз.;

S<sub>Т.О.</sub> – площадь занимаемая технологическим оборудованием, м<sup>2</sup>;

S<sub>В.К.</sub> – площадь занимаемая водолазным комплексом, м<sup>2</sup>;

S<sub>РОВ/АОВ</sub> – площадь занимаемая аппаратными средствами, м<sup>2</sup>;

S<sub>MS</sub> – площадь, занимаемая обитаемыми подводными аппаратами, м<sup>2</sup>;

T<sub>АВТ.</sub> – задаваемый срок автономности судна, сутки;

B, T – критерий оптимизации, ширины и осадки судна соответственно;

X<sub>В</sub>, X<sub>T</sub> – варьируемые элементы, участвующие при оптимизации ширины и осадки судна соответственно;

B<sub>max</sub> – максимальная величина ширины судна;

T<sub>max</sub> – максимальная величина осадки судна.

Используя формулы (9) и (10), ниже в выражении (11) отражена модель оптимизации проектируемого судна по критериям оптимизации ширины и осадки.

$$B \cup T_{(X)} = (C + B_{max})f \left( \sum_{n=1}^n X \right) \rightarrow (B \cup T_{max}) \quad (11)$$

### Результат

Сформирован системно-оптимизированный алгоритм процесса автоматизированного проектирования судов обеспечения подводно-технических работ с использованием базы данных близких по назначению судов. Предложено формирование облика судна при выборе компоновки судна с использованием разработанной формы обводов корпуса с полученными мощностью ГД и поперечной метацентрической высоты. Проведена оценка весовой нагрузки по статьям водоизмещения с выводом модели расчета для раннего этапа проектирования. Разработан алгоритм расчета главных размерений с учетом критериев оптимизации.

### Заключение

В работе смоделирована методика системного формирования компоновки судна, выбора формы обводов корпуса и оценки весовой нагрузки судна для ранних этапов проектирования. Используя базы данных близких по назначению судов, сформирован алгоритм расчета габаритных и конструктивных размеров судов обеспечения подводно-технических работ с учетом выбранных критериев оптимизации.

Опираясь на описанные выше разработки, предполагается на дальнейших этапах исследования совершенствовать принцип выбора главных размерений и оценку мореходных качеств проектируемых судов обеспечения подводно-технических работ на ранних этапах проектирования используя базы данных близких по назначению судов.

### Список используемой литературы

1. Гайкович А.И. Проблемы теории проектирования судов и ее преподавания: / А.И.Гайкович // Труды Крыловского Государственного Научного Центра. – Санкт-Петербург: - 2020. - Специальный выпуск №1. – с.137-141.
2. B. Igrac, R. Pawling, G. Thomas. An interactive layout exploration and optimization method for early stage ship design. «International conference on computer application in shipbuilding 2019»: / 24-26 September 2019, the Netherland.
3. Лебедева М.П. Управляемость и моделирование движения водоизмещающего судна: / М.П. Лебедева, А.О. Лебедев – Москва – Инфа-Инженерия – 2023 – 200с.
4. Справочник по теории корабля: / [т. 1], изд. Судостроение, Ленинград, 1985
5. Stain Ove Erikstad. System Based Design of Offshore Support Vessels. January 2012.
6. Kai Levander. «Innovative Ship Design – Can innovative ships be designed in a methodological way»: / Proceedings/IMSDC 03, Athens 2003.
7. Гайкович А.И. Основы теории проектирования сложных технических систем: / А.И.Гайкович. Санкт-Петербург: МОРКНИГА. 2001. – 432с.
8. Кулеш В.А. Весовая нагрузка судов: / В.А. Кулеш, К.В. Ёлкина – Владивосток - Дальневосточный федеральный университет – 2021 – 42с.
9. Анисимова В.В. Многокритериальная оптимизация в проектировании судов: / В.В.Анисимова, Е.П.Роннов // Конгресс Международного форума «Великие реки», - 2014. с.273 – 276.
10. Печенюк А.В. Оптимизация судовых обводов для снижения сопротивления движению // - Одесса: Компьютерные исследования и моделирования, - 2017. №9 – с.57-65.
11. Абдуллаев О.М. Анализ функций судна обеспечения подводно-технических работ с учетом технологического оборудования и оценка влияния на размеры и технические характеристики судна // - Баку: Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy, - 2023. №1(37), - с.11 – 21.

- Egorov A.G. Risk-based analysis of operational design restrictions and main design characteristics of subsea construction VESSELS / O.M.Abdullayev // Вестник Одесского Национального Университета – Одесса: - 2023. №1(68), - с.7 – 26.

#### References

- Gaykovich A.I. Problems of the theory of design of vessels and its teaching: / A.I. Gaykovich // Works of Krylov state scientific center. Special release 1. St. Petersburg 2020., p.137-141.
- B. Igrac, R. Pawling, G. Thomas. An interactive layout exploration and optimization method for early stage ship design. «International conference on computer application in shipbuilding 2019»: / 24-26 September 2019, the Netherland.
- Lebedeva M.P. Controllability and modeling of the movement of the water-displacing vessel: / M.P. Lebedeva, A.O. Lebedev – Moscow Vologda, – "Infra-inzheneriya" – 2023 – 200p.
- Reference book on the Ship theory volume 1. Sudostroeniye, Leningrad, 1985.
- Stain Ove Erikstad. System Based Design of Offshore Support Vessels. January 2012.
- Kai Levander. «Innovative Ship Design – Can innovative ships be designed in a methodological way», Proceedings/IMSDC 03, Athens 2003.
- Gaykovich A.I. Bases of the theory of design of complex technical systems: / A.I. Gaykovich. St. Petersburg: MORINTEX. 2001. – 432p.
- Kulesh V.A. Weight loading of vessels: / V.A. Kulesh, K.V. Elkina – Vladivostok - Far Eastern Federal University – 2021 – 42p.
- Anisimova V.V. Multicriteria optimization in design of vessels: / V.V. Anisimova, E.P.Ronnov // Congress of the International forum «Great river», - 2014. p.273 – 276.
- Pechenyuk A.V. Optimization of ship contours for decrease in resistance to the movement // - Odessa: Computer researches and modeling, - 2017. #9 – p.57-65.
- Abdullayev O.M. The analysis of functions of the subsea construction vessel taking into account processing equipment and assessment of the impact on the dimension and technical characteristics of the vessel // - Baku: Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy, - 2023. #1(37), - p.11 – 21.
- Egorov A.G. Risk-based analysis of operational design restrictions and main design characteristics of subsea construction VESSELS / O.M.Abdullayev // Herald of the Odessa national maritime university – Odessa: - 2023. #1(68), - p.7 – 26.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTORS

**Лебедева Марина Петровна**

к.т.н., старший научный сотрудник  
ГУМРФ им. С.О. Макарова  
198035, Ст. Петербург, Российская Федерация,  
ул. Двинская, 5/7, e-mail: imp45@yandex.ru

**Marina P. Lebedeva**

с.т.с. senior researcher, Admiral Makarov State  
University of Maritime and Inland Shipping,  
198035, St. Petersburg, Russian Federation,  
Dvinskaya st., 5/7, e-mail:  
imp45@yandex.ru

**Абдуллаев Ойрад Мамедрагим оглы**

Директор КАСПМОРНИИПРОЕКТ,  
AZ1003, Азербайджан, Баку,  
ул. Зия Юсифзаде, д.48,  
e-mail: ойрад.abdullayev@asco.az

**Oyrad M. Abdullayev**

Director, Caspian Sea Project  
AZ1003, Azerbaijan, Baku,  
Ziya Yusifzade Str. 48, e-mail:  
oyrad.abdullayev@asco.az

Статья поступила в редакцию 07.07.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 07.07.2023; published online 20.09.2023.

УДК 378.147.88  
DOI: 10.37890/jwt.vi76.394

## **Имитационно-лабораторные исследования методов очистки балластных вод**

**М.Н. Покусаев**  
**А.А. Хмельницкая**  
**К.Е. Хмельницкий**  
**П.Н. Голубец**

*Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия*

**Аннотация.** В статье описан процесс проектирования и сборки учебно-лабораторного стенда «Методы очистки балластных вод», который планируется использовать для проведения лабораторных (практических) работ по дисциплинам «Экология» и «Судовое оборудование и процедуры предотвращения загрязнения окружающей среды» для морских специальностей.

Требования к знаниям выпускников морских специальностей очень высоки и должны быть достаточно глубокими в области охраны окружающей среды. Наличие практических и лабораторных занятий на специализированном оборудовании позволяет повысить качество подготовки обучающихся, при этом соблюдается основная цель международной конвенции о подготовке, дипломировании моряков и несении вахты (ПДНВ-78), чтобы все суда были укомплектованы экипажами в необходимом объеме, при этом, экипаж судна должен иметь высокий уровень квалификации и пройти соответствующую теоретическую и практическую подготовку для качественного выполнения своих обязанностей.

**Ключевые слова:** балластные воды, очистка балластных вод, защита окружающей среды, предотвращение загрязнения моря, экологические проблемы, Международная конвенция по контролю и обработке судового водяного балласта и осадков и управлению ими 2004 года.

## **Simulation and laboratory studies of ballast water purification methods**

**Mikhail. N. Pokusaev**  
**Anastasia. A. Khmel'nitskaya**  
**Konstantin. E. Khmel'nitsky**  
**Pavel N. Golubets**

*Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia*

**Abstract.** The article describes the process of designing and assembling an educational and laboratory stand "Ballast water treatment methods", which is planned to be used for laboratory (practical) work in the disciplines "Ecology" and "Ship equipment and environmental pollution prevention procedures" for marine specialties.

The knowledge requirements for graduates of marine specialties are very high and should be sufficiently deep in the field of environmental protection. The availability of practical and laboratory classes on specialized equipment makes it possible to improve the quality of students training, while observing the main purpose of the International Convention on Training, Certification of seafarers and watchkeeping (STCW-78), so that all ships are manned to the required extent, while the ship crew must have a high level of qualification and pass the appropriate theoretical and practical training for the high-quality performance of their duties.

**Keywords:** ballast water, ballast water treatment, environmental protection, marine pollution prevention, environmental problems, International Ballast Water Management Convention 2004

### **Введение**

В настоящее время Международная морская организация (ИМО) уделяет огромное внимание вопросам экологии и защите окружающей среды. Впервые вопросы, связанные со сбросом балластных вод и перевозимых с ней микроорганизмами [1], были озвучены еще в 1991 году, когда была принята резолюция МЕРС. 50(31) от 04 июля 1991 года. В этой резолюции уже были прописаны механизмы по управлению балластными водами, а именно регистрация балласта, смена балласта и другие процедуры. Далее появились резолюции А.774(18) от 04 ноября 1993 года и А.868(20) от 27 ноября 1997 года. Все эти резолюции были направлены на контроль балластных вод и имели только рекомендательный характер. И только 13-го февраля 2004 года была принята Международная конвенция по управлению балластными водами (International Ballast Water Management Convention 2004). Конвенция вступила в силу лишь 8-го сентября 2017 года, когда набралось необходимое количество подписей. Тридцать стран присоединились к Конвенции, набрав 35 процентов всего мирового тоннажа. Суть данной конвенции заключалась в следующем: исключить попадание инвазивных микроорганизмов из одного региона в другой. Основывается это на двух основных правилах: D1 и D2. Правило D1 подразумевает смену балласта во время рейса, D2 – использование, установленной на судне системы очистки балластных вод [2]. Смена балласта, особенно для судов, имеющих большой объем балластных вод, может занимать несколько суток. Простой судна – это колоссальные потери для судовладельцев. Поэтому все больше судов оборудуются установками очистки балластных вод [3].

Суда, осуществляющие управление балластными водами [2] в соответствии с правилом D2, сбрасывают на 1 куб. м менее 10 жизнеспособных организмов размерами более 50 мкм и на 1 мл менее 10 жизнеспособных организмов размерами менее 50 мкм и более 10 мкм. При этом сброс индикаторных микробов не превышает установленных концентраций, описанных ниже:

1. Токсигенный вибрион холеры (O1 и O139) с менее чем 1 колониеобразующей единицей (КОЕ) на 100 мл, или менее 1 КОЕ на 1 грамм сырого веса образцов зоопланктона;
2. кишечную палочку – менее 250 КОЕ на 100 мл;
3. кишечные энтерококки – менее 100 КОЕ на 100 мл.

В настоящее время существуют следующие методы очистки балластных вод: механический, физический, химический и биологический. Суть механического метода заключается в использовании фильтров и мультигидроциклонов. В физическом методе очистки используют обработку ультрафиолетом, обработку ультразвуком, электролиз, озонирование, нагревание. В химическом используют электрохлорирование, обработку диоксидом хлора, обработку перексидом водорода, обработку гипохлоритом натрия, обработку хлорной кислотой. Биологический метод заключается в добавлении в балластную воду хищных или паразитных организмов с целью уничтожения вредных микроорганизмов [4, 5, 6] .

Наибольшее распространение получили установки, использующие физические и химические методы очистки. На судах река-море чаще всего используют установки очистки балластных вод, в которых применяют ультрафиолетовое излучение, т.к. данное оборудование имеет менее габаритные размеры, что облегчает интеграцию оборудования в балластную систему. [3,7]

Эксплуатация установок очистки балластных вод, обслуживание и при необходимости ремонт – это задача экипажа судна. Все оборудование устанавливается и эксплуатируется в соответствии с требованиями производителя.

Экипаж в свою очередь обязан обладать необходимой компетенцией [8,9, 10] и определенными навыками, полученными в процессе обучения.

Проведя анализ имеющихся на рынке учебных стендов для лабораторий профильных учебных заведений, было выявлено, что учебные установки очистки балластных вод в готовом виде отсутствуют, а изготовление на заказ требует значительных вложений, порядка 700 000 рублей. В процессе изучения данной темы было решено рассчитать и спроектировать подобный учебный стенд, используя меньшие затраты.

Проанализировав доступные на рынке системы обработки балласта, одобренные ИМО, сделали следующий вывод о том, что в комплексе механической фильтрации преобладающей технологией очистки является использование фильтров за счет их быстрой работы, размеров и простоты их эксплуатации и замены. Также следует еще отметить, что такие способы дезинфекции, как использование физического метода обработки ультрафиолетовыми волнами или химического метода хлорирования, являются в настоящее время наиболее востребованными.

Физический метод обработки балластных вод ультрафиолетовым излучением используются в следующих разработках: «GloEn-Patrol™ Ballast», «Compact Clean», «Lees Green», «Resource Ballast Technologies», «Desmi», «HydeMarine», «AquaTriComb».

Химический метод обработки балластных вод процессом хлорирования используется следующими разработчиками: «Hyundai Heavy Industries», «Blue Ocean Shield», «Ecochlor»; «OceanSaver»; «RWO».

Таким образом, методы обработки ультрафиолетовым облучением и фильтрование получили большое распространение за счет их максимальной безопасности для членов экипажа судна и судовых конструкций, высокой производительности и возможности интегрирования на суда смешанного района плавания при небольшой занимаемой площади и потребляемой мощности, без значительных конструктивных воздействий на корпус и судовые системы судна.

Используя основные принципы работы и устройство систем обработки балластных вод, авторами были разработаны монтажная и электрическая принципиальные схемы учебно-лабораторного стенда «Методы очистки балластных вод», приведены на рисунках 1 и 2.

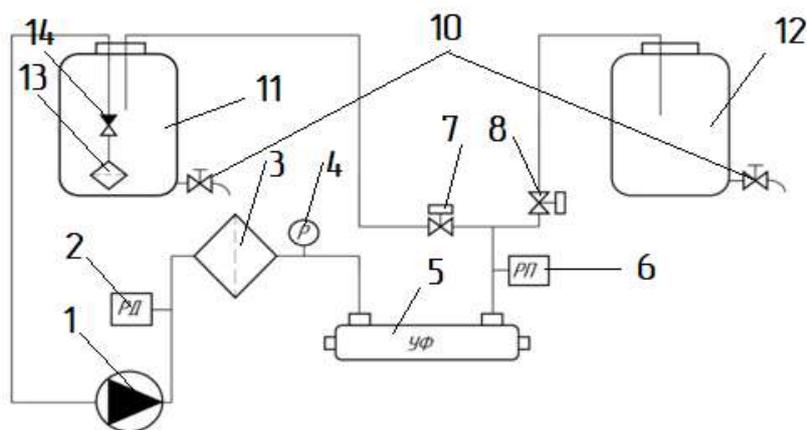


Рис. 1. Принципиальная схема учебного стенда. 1-вихревой насос, 2- реле давления, 3-сетчатый фильтр, 4-манометр, 5-УФ-реактор, 6-реле потока, 7-электромагнитный клапан №1, 8- электромагнитный клапан №2, 9-панель управления, 10-краны для отбора проб, 11-бак для необработанной воды, 12-бак для обработанной воды, 13-приемный фильтр, 14-обратный клапан

Элементы электрической схемы панели управления монтируются проводом сечением 1,5 мм<sup>2</sup> с использованием кабельных наконечников. Электрическая схема представлена на рис. 2.

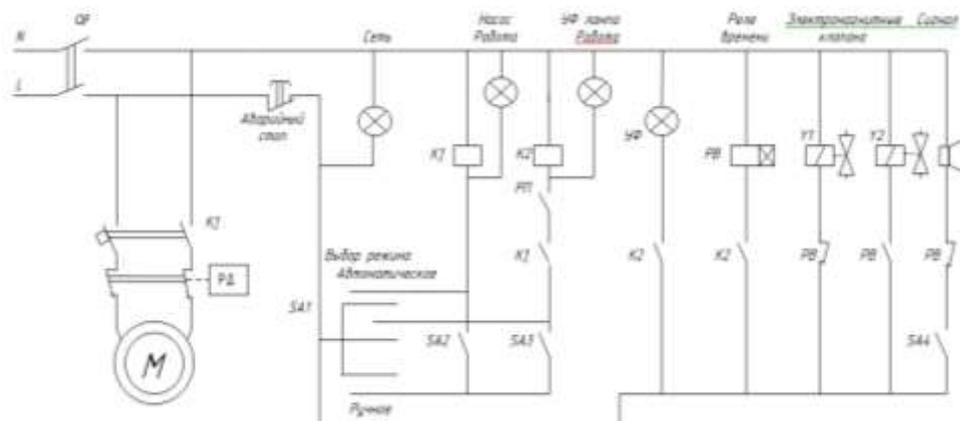


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема учебного стенда. QF-автоматический выключатель, РД - реле давления, SA1 – тумблер выбора режима работы, SA2 – тумблер включения насоса, SA3 – тумблер включения УФ-реактора, SA4 – тумблер отключения сигнала ошибки, K1-контактор управления насосом, K2-контактор управления УФ-реактором, РВ-реле времени, Y1-электромагнитный клапан №1, Y2- электромагнитный клапан №2, УФ-ультрафиолетовый реактор

Проанализировав наличие и цены у имеющихся в Астраханской области поставщиков, было принято решение, что самым оптимальным вариантом является закупка комплектующих на интернет площадке «Озон».

Капитальные вложения  $K_{пр}$  на создание лабораторного стенда включают в себя расходы на приобретение оборудования, слесарные и сварочные работы, расходы на крепеж и другие дополнительные расходы:

$$K_{пр} = K_1 + K_2 + K_3 + K_4;$$

где  $K_1$  - стоимость устанавливаемого оборудования или затраты на его изготовление, включая проектирование;

$K_2$  – затраты на монтаж устанавливаемого оборудования (10% от  $K_1$ );

$K_3$  – транспортные расходы (5% от  $K_1$ );

$K_4$ - дополнительные расходы.

Капитальные вложения на создание учебно-лабораторного стенда включают в себя расходы на приобретение оборудования, слесарные и сварочные работы, расходы на крепеж и другие дополнительные расходы.

В таблице 1 представлены все необходимые комплектующие для сборки учебно-лабораторного стенда.

Таблица 1.

**Перечень закупленного оборудования**

№	Наименование	Кол-во, шт	Страна производства	Дата закупки	Цена, руб
1	Насос вихревой ДЕКО	1	Китай	18.04.2023	1704
2	Фильтр магистральный	1	Россия	17.04.2023	493
3	Картридж фильтра	1	Россия	19.04.2023	375
4	УФ-реактор Waterstry	1	Китай	19.04.2023	6659
5	Реле потока Vodotok	1	Китай	22.04.2023	530
6	Реле давления AquaMotor	1	Китай	19.04.2023	544

7	Электромагнитный клапан Arma Control	2	Китай	19.04.2023	2*871
8	Емкость для воды	2	Россия	25.04.2023	2*700
9	Щит монтажный ЩМП	1	Россия	26.04.2023	685
10	Автоматический выключатель DEKraft	1	Россия	26.04.2023	365
11	Контактор ЕКФ	2	Китай	26.04.2023	2*365
12	Манометр Vieir	1	Россия	25.04.2023	320
13	Реле времени TDM PB2A	1	Китай	04.05.2023	588
14	Разъем для реле времени	1	Китай	04.05.2023	174
15	Регулятор мощности	1	Китай	18.04.2023	216
16	Тумблер однополюсный	3	Китай	21.04.2023	3*138
17	Тумблер двухполюсный	1	Китай	26.04.2023	176
18	Лампа индикаторная TDM	3	Китай	26.04.2023	3*177
19	Сигнализатор TDM	1	Китай	26.04.2023	378
20	Кнопка «аварийный стоп»	1	Китай	26.04.2023	269
21	Муфта разборная 25x1», наружная резьба	2	Россия	25.04.2023	2*200
22	Муфта разборная 25x1/2», наружная резьба	2	Россия	25.04.2023	2*195
23	Муфта разборная 25x3/4», внутренняя резьба	3	Россия	25.04.2023	3*180
24	Муфта неразборная 25x1/2», внутренняя резьба	1	Россия	25.04.2023	55
25	Муфта неразборная 25x3/4», внутренняя резьба	2	Россия	25.04.2023	2*75
26	Муфта неразборная 25x3/4», наружная резьба	1	Россия	25.04.2023	100
27	Обратный клапан 3/4	1	Россия	25.04.2023	310
28	Фильтр обратного клапана	1	Россия	25.04.2023	50
29	Тройник 25x1/2x25 наружная резьба	1	Россия	25.04.2023	85
30	Тройник 25x1/2x25 внутренняя резьба	1	Россия	25.04.2023	80
31	Переход 1/2x1/4	2	Россия	25.04.2023	2*90
32	Тройник 25x25x25	1	Россия	25.04.2023	15
33	Угол 90/25	13	Россия	25.04.2023	13*12
34	Крепления 25	3	Россия	25.04.2023	3*6
35	Труба 25 полипропиленовая	5м	Россия	25.04.2023	5*85
36	Кабель 3x1,5	5м	Россия	25.04.2023	5*75
37	Провод монтажный 1x1,5	3м	Россия	25.04.2023	3*25
38	Провод заземления 1x2,5	2м	Россия	25.04.2023	2*25
39	Защитный поддон	1	Россия	25.04.2023	200
40	Лента уплотнительная (ФУМ)	1	Россия	25.04.2023	100
41	Экспресс тест DipSlide	1	Россия	03.05.2023	885
ИТОГО:					22932

Согласно таблице 1 общая стоимость комплектующих составила 22 932 рубля. Следовательно:

$$K_1 = 22\,932 \text{ руб.}$$

$$K_2 = 22932 * 10\% = 2293,2 \text{ руб.}$$

$$K_3 = 22932 * 5\% = 1146,6 \text{ руб.}$$

$$K_4 = 0.$$

Отсюда капитальные расходы составят:

$$K_{\text{пр}} = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 = 22932 + 2293,2 + 1146,6 + 0 = 26\,371,8 \text{ руб.}$$

Таким образом на изготовление данного лабораторного стенда было затрачено 26 371,8 рублей, что значительно ниже заявленной стоимости производителей лабораторного оборудования.

Учебный стенд предназначен для ознакомления обучающихся с методами обработки балластных вод. В данной установке используются два метода обработки: механическая (Фильтрация) и физическая (Обработка ультрафиолетом). Установки, использующие данные методы, устанавливаются на большинстве современных судов.

На сегодняшний день учебный стенд был апробирован на занятиях в рамках «Инженерной школы» 27.05.2023 года.

На рис. 3 представлен общий вид учебно-лабораторного стенда «Методы очистки балластных вод».



Рис. 3. Общий вид учебно-лабораторного стенда. 1-вихревой насос, 2- реле давления, 3-сетчатый фильтр, 4-манометр, 5-УФ-реактор, 6-реле потока, 7-электромагнитный клапан №1, 8- электромагнитный клапан №2, 9-панель управления, 10-краны для отбора проб, 11-бак для необработанной воды, 12-бак для обработанной воды

Принцип действия. Приготовление модельной загрязненной смеси: в водопроводную воду, были помещены живые бактерии препарата «Бифидумбактерин», приобретенный в аптеке, из расчета 5 ампул на 10 литров воды. В качестве модельной смеси можно использовать обычную речную воду. Отбираем пробу воды и проводим анализ «До» на выявление общего микробного числа. Для получения анализа мы использовали экспресс тесты компании «Биоконтроль», Россия, г. Казань (Рис 4).



Рис. 4. Экспресс тест «Биоконтроль»

Далее необработанная вода при помощи вихревого насоса подается на сетчатый фильтр. В процессе фильтрации отсеиваются крупные механические частицы и микроорганизмы, имеющие размеры, превышающие 50 мкм. После чего вода попадает в УФ-реактор, где происходит обработка воды ультрафиолетовым излучением. Ультрафиолет действует на микроорганизмы, разрушая их ДНК. Отбираем пробу воды и проводим анализ «После».

#### **Порядок проведения анализа [11]**

Как видно из рисунка 4 тест система представляет собой пластиковый носитель с нанесенной на него питательной средой, предназначенной для культивирования микро-организмов и последующего подсчета количества колоний.

Порядок проведения анализа:

1. Открыть крышку пробирки и извлечь пластину, не касаясь агаровых поверхностей.
2. При анализе жидких проб полностью смочить агаровую пластину (посев следует проводить согласно ГОСТ ISO 11133-2016), дать избытку жидкости стечь и/или промокнуть пластину чистой фильтровальной бумагой.
3. Плотнo закрыть крышку и поместить тест в место, защищенное от солнца.
4. Пробы необходимо инкубировать при 37°C до 18-20 часов в аэробных условиях. При комнатной температуре срок инкубации может увеличиться до 30-35 часов.
5. Для оценки результата использовать следующие данные:

#### **Интерпретация результатов анализа**

Определение общего микробного числа (ОМЧ). Большинство бактерий образуют колонии красного цвета. Число бактерий (колониеобразующие единицы на мл пробы, КОЕ/мл) определяется сравнением плотности колоний на приведенном рис.5. Если присутствуют бесцветные колонии, их тоже следует учитывать при оценке плотности роста.

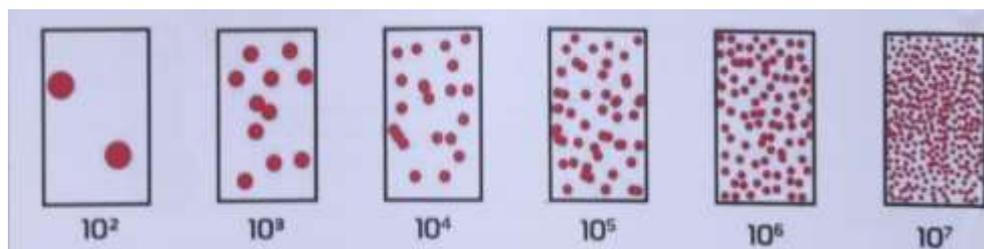


Рис.5. Шаблон для сравнения плотности колоний

В зависимости от количества микроорганизмов можно определить степень загрязненности (таблица 2).

Таблица 2

**Интерпретация результатов анализа**

Степень загрязненности	Количество микроорганизмов
Незначительная	$10^2$
Низкая	$10^3$
Средняя	$10^4$
Высокая	$10^5$
Очень высокая	$10^6$
Очень высокая	$10^7$

Согласно инструкции к данным экспресс тестам [3], получается, что «До» обработки в образце воды содержатся микроорганизмы, в количестве 150 КОЕ/мл, об этом свидетельствуют три ярко выраженные точки красного цвета на поверхности агаровой пластины теста (Рис 4). «После» обработки, в образце воды, данные микроорганизмы отсутствуют.

Таким образом, после очистки, с помощью данного учебно-лабораторного стенда, получается вода, очищенная от микроорганизмов, что подтверждает работоспособность данного учебно-лабораторного стенда.

Учебно-лабораторный стенд имеет два режима работы: автоматический и ручной. При включении автоматического режима работы все операции происходят в автоматическом режиме, следует лишь дождаться отключения сигнализации, что говорит о том, что установка вышла на рабочие параметры и сделать отбор проб из емкости для обработанной воды. После, в отобранные пробы помещают тест полоски и, следуя инструкциям к экспресс тестам определяют значения ОМЧ до и после обработки.

При ручном режиме работы алгоритм выполнения работ следующий:

1. Включаем питание насоса. При работе насоса на контрольном манометре появится рабочее давление. После появления рабочего давления переходим ко второму шагу.
2. Включаем питание УФ- реактора. Сигнальная лампа на панели управления загорится синим цветом, что сигнализирует о том, что УФ- реактор включен.
3. После выдержки времени, необходимого для розжига УФ лампы и прохождения необработанной воды через байпасную линию обратно в емкость для неочищенной воды, сработают электромагнитные клапаны и одновременно закроют байпасную линию и откроют подачу к емкости с очищенной водой.

4. Вода, прошедшая через УФ-реактор, поступает в емкость для очищенной воды, которая имеет специальный кран для отбора проб. Необходимо набрать нужное количество проб и отключить установку.
5. Отключение установки происходит в обратном режиме, т.е. сначала отключаем питание на УФ-реактор, после отключения электромагнитные клапаны откроют байпасную линию и закроют линию ведущую к емкости с обработанной водой. После чего отключаем питание насоса и лабораторного стенда в целом. Сливаем оставшуюся в емкостях воду.
6. После определения ОМЧ в пробах до и после обработки и записи данных показаний лабораторная работа считается завершенной.

### **Заключение**

Основная цель международной конвенции о подготовке, дипломировании моряков и несении вахты 1978 г. с Манильскими поправками ПДНВ [2] заключается в том, чтобы все суда были укомплектованы экипажами в необходимом объеме, при этом, экипаж судна должен иметь высокий уровень квалификации и пройти соответствующую теоретическую и практическую подготовку для качественного выполнения своих обязанностей.

Так, для вахтенных механиков для осуществления функции «судовые механические установки на уровне эксплуатации» в сфере компетенции «эксплуатация систем топливных, смазочных, **балластных** и других насосных систем и связанных с ними систем управления» требуется обеспечить безопасность операций и избежание загрязнения морской среды. Для обеспечения функции «управление операциями судна и забота о людях на судне на уровне эксплуатации» требуются знания в сфере компетенции «обеспечение выполнения требований по предотвращению загрязнения» При этом, судовой механик должен знать: основные задачи для предотвращения загрязнения морской среды; меры предосторожности, которые необходимо принимать для предотвращения загрязнения морской среды; меры по борьбе с загрязнением и все связанное с этим оборудование; важность предупредительных мер по защите морской среды. Помимо практических знаний в области оборудования для предотвращения загрязнения окружающей среды и принципов его работы, судовой механик должен иметь знания в сфере компетенции «наблюдение за соблюдением требований законодательства» для профессионального начального рабочего знания соответствующих конвенций ИМО, касающихся охраны человеческой жизни на море и защиты морской среды.

Более глубокими знаниями в области экологии должны обладать вторые и старшие судовые механики, работающие на функции управления. Для выполнения функции «управление операциями судна и забота о людях на судне на уровне управления» они должны уметь производить наблюдение и контроль за выполнением требований законодательства и мер по обеспечению охраны человеческой жизни на море, охраны и защиты морской среды. Особое внимание при этом, должно быть уделено вопросам: вытекающие из Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов, с поправками; методам и средствам предотвращения загрязнения морской среды с судов.

Помимо судовых механиков, в области экологии должны иметь знания и электромеханики в сфере компетентности «применение мер предосторожности и содействие предотвращению загрязнения морской среды», в том числе знать: меры предосторожности, которые должны приниматься для предотвращения загрязнения морской среды; способы использования и эксплуатации оборудования/средств для борьбы с загрязнением; одобренные методы удаления загрязнителей моря.

Отсюда следует, что требования к знаниям выпускников морских специальностей очень высоки и должны быть достаточно глубокими в области охраны окружающей среды. Наличие практических и лабораторных занятий на специализированном оборудовании позволяет повысить качество подготовки обучающихся, повысить их профессиональные навыки, которые в последующем они смогут использовать на практике в процессах работы на судах, в технических службах компаний судовладельцев и т.д., как российских, так и международных.

#### Список литературы

1. Леонов В. Е. Балластные воды в судоходстве: глобальная экологическая проблема / В.Е. Леонов, Я.В. Ермоленко // Sciences of Europe. — 2016. — № 1(1). — С. 80–87.
2. Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими. / International Ballast Water Management Convention 2004 — СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2005. — 120 с.
3. Решняк В. И. Технология очистки и обеззараживания балластной воды / Решняк В. И., Каляуш А. И., Рочев Д. И. // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология 2021. — № 1 – 2021. — с. 32-38
4. Андриюшечкин Ю. Н. Анализ методов и способов управления балластными водами судов / Ю. Н. Андриюшечкин, А. К. Гусев, Д. Ю. Столповский // European scientific conference: сборник статей IX Международной научно-практической конференции: в 2 ч. — Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. — Ч. 1. — С. 107–110.
5. Горбов В. М. Анализ технико-экономических показателей при выборе систем обработки балласта / В. М. Горбов, В. С. Митенкова // Морський та річковий транспорт. — 2014. — № 2 (11). — С. 28–38.
6. Мизгирев Д. С. Современные способы и системы обработки судовых балластных вод / Д. С. Мизгирев, А. С. Курников // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2013. — № 37. — С. 190–198.
7. Коперчак О.П. Проблема балластных вод морского судна. Методы ее решения // Вестник науки: №11 (20) том 4. – 2019 г. – С. 143 - 146.
8. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ) кн. 111, переем. изд.— СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2012.
9. Руководство по применению требований Международной конвенции о контроле судовых балластных вод и осадков и управлению ими. 2004 г. (НД № 2-030101-030). — СПб, РМРС, 2015. — 105 с.
10. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (ПДНВ-78) с поправками (консолидированный текст) / International Convention on standards of training, certification and watchkeeping for seafarers, 1978 (STCW 1978), AS AMENDED (consolidated text) / М-во транспорта Рос. Федерации; отв. За вып. В.Я. Васильев. — СПб.: ЦНИИМФ, 2016. — 823 с.
11. Инструкция по применению дипслайдов «Биоконтроль» на ОМЧ./ООО «Биоконтроль ГР» /- Казань, 2023 – 2 с.

#### References

1. Leonov V. E. Ballastnye vody v sudokhodstve: global'naya ehkologicheskaya problema / V.E. Leonov, YA.V. Ermolenko // Sciences of Europe. — 2016. — № 1(1). — S. 80–87.
2. Mezhdunarodnaya konventsiya o kontrole sudovykh ballastnykh vod i osadkov i upravlenii imi. / International Ballast Water Management Convention 2004 — SPb.: ZAO TSNIMF, 2005. — 120 s.
3. Reshnyak V. I. Tekhnologiya ochestki i obezzarazhivaniya ballastnoi vody / Reshnyak V. I., Kalyaush A. I., Rochev D. I. // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya 2021. — № 1 – 2021. — s. 32-38
4. Andryushechkin YU. N. Analiz metodov i sposobov upravleniya ballastnymi vodami sudov / YU. N. Andryushechkin, A. K. Gusev, D. YU. Stolpovskii // European scientific conference: sbornik statei IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 2 ch. — Penza: MTSNS «Nauka i ProsveshcheniE», 2018. — CH. 1. — S. 107–110.

5. Gorbov V. M. Analiz tekhniko-ehkonomicheskikh pokazatelei pri vybore sistem obrabotki ballasta / V. M. Gorbov, V. S. Mitenkova // Mors'kii ta richkovii transport. — 2014. — № 2 (11). — S. 28–38.
6. Mizgirev D. S. Sovremennye sposoby i sistemy obrabotki sudovykh ballastnykh vod / D. S. Mizgirev, A. S. Kurnikov // Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta. — 2013. — № 37. — S. 190–198.
7. Koperchak O.P. Problema ballastnykh vod morskogo sudna. Metody ee resheniya // Vestnik nauki: №11 (20) tom 4. – 2019 g. – S. 143 - 146.
8. Mezhdunarodnaya konventsia po predotvrashcheniyu zagryazneniya s sudov (MARPOL) kn. 111, pereem. izd.— SPb.: ZAO TSNIIMF, 2012.
9. Rukovodstvo po primeneniyu trebovaniy Mezhdunarodnoi konventsii o kontrole sudovykh ballastnykh vod i osadkov i upravleniyu imi.2004 g. (ND № 2-030101-030). – SPb, RMRS, 2015. – 105 s.
10. Mezhdunarodnaya konventsia o podgotovke i diplomirovanii moryakov i nesenii vakhty 1978 goda (PDNV-78) s popravkami (konsolidirovannyi tekst) / International Convention on standards of training, certification and watchkeeping for seafarers, 1978 (STCW 1978), AS AMENDED (consolidated text) / M-vo transporta Ros. Federatsii; otv. Za vyp. V.YA. Vasil'ev. – SPb.: TSNIIMF,2016. – 823 s.
11. Instruktsiya po primeneniyu diplaidov «Biokontrol'» na OMCH./ООО «Биоконтроль GR» /-Kazan', 2023 – 2 s.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Покусаев Михаил Николаевич**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация водного транспорта», Астраханский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «АГТУ»), 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: evt2006@rambler.ru

**Mikhail N. Pokusaev**, Doctor of technical Sciences, Professor, head of the Department «Operation of water transport», Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva str., 16; evt2006@rambler.ru

**Хмельницкая Анастасия Александровна**, кандидат технических наук; доцент кафедры эксплуатации водного транспорта и промышленного рыболовства; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; evt2006@rambler.ru

**Anastasia A. Khmel'nitskaya**, Candidate of Technical Sciences; Docent of the Department of Operation of Water Transport and industrial fishing; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva str., 16; evt2006@rambler.ru

**Хмельницкий Константин Евгеньевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации водного транспорта и промышленного рыболовства; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; chuchera80@mail.ru

**Konstantin E. Khmel'nitsky**, Candidate of Technical Sciences; Docent of the Department of Water Transport Operation and industrial fishing; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, 16 Tatishcheva str.; chuchera80@mail.ru

**Голубец Павел Николаевич**, студент кафедры эксплуатации водного транспорта и промышленного рыболовства; Астраханский государственный технический университет; 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16; eto\_golubets@mail.ru

**Pavel N. Golubets**, student of the Department of Water Transport Operation and industrial fishing; Astrakhan State Technical University; 414056, Astrakhan, Tatishcheva str., 16; eto\_golubets@mail.ru

Статья поступила в редакцию 01.06.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 01.06.2023; published online 20.09.2023.

УДК [627.034:627.032]

DOI: 10.37890/jwt.vi76.335

## **Выбор типа буровой установки для разведочного бурения в арктических условиях по методу анализа иерархий**

**А.А. Хвалимова**<sup>1,2</sup>

*ORCID: 0000-0003-4093-5911*

**В.А. Крамарь**<sup>2</sup>

*ORCID: 0000-0002-0528-1978*

**А.В. Родькина**<sup>2</sup>

*ORCID: 0000-0002-4593-4259*

**О.А. Иванова**<sup>2</sup>

*ORCID: 0000-0002-3034-0968*

<sup>1</sup>*АО «ЦКБ «Коралл», г. Севастополь, Россия*

<sup>2</sup>*Севастопольский государственный университет, г. Севастополь*

**Аннотация.** Одной из базовых инфраструктур в экономике России, формирующих основной бюджет страны, является топливно-энергетический комплекс. Добыча нефтегазовой промышленности в акваториях Северного Ледовитого океана на континентальном шельфе России имеет развитие по некоторым тенденциям – для разведочного бурения в арктических условиях могут использоваться различные типы буровых установок, имеющих отличные друг от друга параметры. Их краткое описание, а также обоснование выбора наиболее эффективной концепции буровой установки для разведочного бурения в арктических условиях с помощью метода анализа иерархий приводится в данной статье. Для получения данных результатов был произведен расчет, который заключался в определении веса критериев выбора. Было произведено обоснованное на полученных результатах сравнение имеющихся альтернатив с последующим выбором наиболее эффективного для заданных условий варианта. Также была представлена новая концепция комбинированной погружной буровой установки для разведочного бурения в арктических условиях.

**Ключевые слова:** ледостойкая буровая установка, разведочное бурение, метод анализа иерархий, ледостойкость, мобильность, расширенный диапазон глубин, инновационность, альтернативы, погружная комбинированная буровая установка

## **Drilling rig type selection for exploratory drilling in the Arctic conditions using analytic hierarchy method**

**Alexandra A. Khvalimova**<sup>1,2</sup>

*ORCID: 0000-0003-4093-5911*

**Vadim A., Kramar**<sup>2</sup>

*ORCID: 0000-0002-0528-1978*

**Anna V. Rodkina**<sup>2</sup>

*ORCID: 0000-0002-4593-4259*

**Olga A. Ivanova**<sup>2</sup>

*ORCID: 0000-0002-3034-0968*

<sup>1</sup>*CDB «Corall» JSC, Sevastopol, Russia*

<sup>2</sup>*Sevastopol State University, Sevastopol*

**Abstract.** One of the basic infrastructures in the economy of Russia forming its core budget is the fuel and energy complex. Oil and gas production on the Russian Arctic continental shelf demonstrates some development trends, i.e. various types of drilling rigs having differing parameters can be used for exploratory drilling in the Arctic conditions. Their brief description and rationale for the selection of the most efficient concept of the drilling rig for

exploratory drilling in the Arctic conditions using analytic hierarchy method are the subjects of this article. To obtain the present results the calculation determining the selection criteria weight was carried out. Due to obtained results the existing alternatives were compared with further selection of the most efficient option for the specified conditions. Also, a new concept of combined submersible drilling rig for exploratory drilling in the Arctic conditions was presented.

**Keywords:** ice-resistant drilling rig, exploratory drilling, analytic hierarchy method, ice-resistance, mobility, extended depth range, innovativeness, alternatives, combined submersible drilling rig

### **Введение**

Основной доход бюджета России формируется благодаря топливно-энергетическому комплексу, который является одной из базовых инфраструктур, отвечающих за экономику страны [1, 2]. Добыча нефтегазовой промышленности в суровых условиях замерзающих морей арктического шельфа России до недавнего времени производилась путем использования самоподъемных плавучих буровых установок, полупогружных плавучих буровых установок и буровых судов, которые могли осуществлять бурение только в безледовый период.

В настоящее время ведутся разработки современных буровых установок по трем основным направлениям:

- проектирование и строительство ледостойких добычных буровых установок гравитационного типа;
- проектирование и строительство ледостойких платформ свайного типа;
- проектирование и строительство полупогружных плавучих буровых установок для осуществления бурения при низких показателях ледовых нагрузок.

Таким образом, из вышеописанного следует вывод, что вопрос о разработке морских ледостойких буровых установок, которые предназначаются для разведочного бурения в суровых условиях Северного Ледовитого океана на континентальном шельфе России до сих пор открыт и требует дальнейшего решения.

Актуальность данного вопроса также подтверждается основными направлениями и задачами «Энергетической стратегии России на период до 2035 г.». Цель данной стратегии заключается в социально-экономическом развитии России, а также в том, чтобы укрепить и сохранить позиции страны в мировой энергетике. Развитие топливно-энергетического комплекса России внесет свой вклад и будет способствовать достижению других секторов экономики страны национальных идей.

При выполнении поисково-разведочных работ необходимо учитывать мобильность буровой установки, то есть ее возможность перемещаться с одной точки бурения на другую с учетом ограничений по транспортировке и плаванию в различных регионах. Чтобы оптимизировать процесс бурения и сократить время на перемещение буровой установки, избежать повреждений оборудования при транспортировке и снизить затраты на перевозку подобный тип буровых установок должен обладать мобильностью.

Учитывая, что разведочное бурение при поставленной задаче должно выполняться в арктических условиях – буровая установка должна выдерживать значительные ледовые нагрузки.

Помимо прочего, немаловажным фактором также является максимально допустимая глубина эксплуатации, т.к. расширенный диапазон глубин дает возможность вести поисково-разведочное бурение на более обширной морской территории, повышая вероятность обнаружения новых потенциальных месторождения для дальнейшей добычи нефти и газа.

Морские ледостойкие стационарные платформы не могут рассматриваться как мобильные. Полупогружные буровые установки и самоподъемные буровые

установки, хоть и обладают мобильностью и возможностью проводить бурение на достаточно больших глубинах, однако не предназначены для использования в суровых арктических условиях.

В настоящее время разработано, а также спроектировано и введено в эксплуатацию определенное количество сооружений, пригодных для проведения работ в Арктике или в месторождениях с практически идентичными условиями. Исследование разработок морских месторождений Арктики актуально в виду дальнейшего определения направлений с наиболее эффективными решениями по проектированию и строительству морских платформ и буровых установок для освоения арктических морей [3–5].

Опыт по освоению месторождений с суровыми арктическими условиями в море Бофорта показал успешность применения буровых платформ с основанием кессонного типа. На данный момент единственной морской ледостойкой стационарной платформой для добычи нефтегазовой промышленности на арктическом шельфе замерзающих морей России является МЛСП «Приразломная» (рис. 1), установленная на одноименном месторождении «Приразломное» в Печорском море на глубине 19 м.



Рис. 1. Платформа «Приразломная»

МЛСП с основанием кессонного типа также успешно эксплуатируются в условиях, сходных с морями Арктики, на Сахалинском шельфе. Платформа «Моликпак» (рис. 2) является первой в России морской производственно-добывающей платформой с ледовым классом. Данная платформа установлена на Астохской площади Пильтун-Астохского месторождения. К основанию платформы добавлено промежуточное стальное основание высотой 15 м, что позволило расширить диапазон глубины эксплуатации для более глубоких вод у острова Сахалин до 30 м.



Рис. 2. Стационарная ледостойкая установка «Моликпак»

Платформа «Беркут» (рис. 3) спроектирована специально для работы в суровых субарктических условиях и может противостоять волнам высотой до 18 м, давлению ледовых полей толщиной до 2 м и температуре до минус 44 °С. На ней впервые в мире применена система сейсмозащиты до 9 баллов. Глубина моря на точке эксплуатации платформы составляет 35 м.



Рис. 3. Платформа «Беркут»

Из опыта в проектировании самоподъемных буровых установок для освоения российского шельфа Арктических морей можно привести такие спроектированные и введенные в эксплуатацию морские сооружения, как:

- СПБУ «Мурманская» (рис. 4), предназначена для проведения разведочного и эксплуатационного бурения нефтегазовых скважин на глубине воды 12-100 м.
- СПБУ «Арктическая» (рис. 5), построена по заказу ООО «Газфлот» по проекту ЦКБ «Коралл» и предназначена для проведения разведочного и эксплуатационного бурения нефтегазовых скважин на глубине воды 7-100 м.

Данные СПБУ могут эксплуатироваться в мелководном льду.



Рис. 4. СПБУ «Мурманская»



Рис. 5. СПБУ «Арктическая»

Для проведения разведочного и эксплуатационного бурения нефтяных и газовых скважин глубиной до 7500 м на глубине воды построены две однотипные ППБУ «Полярная звезда» (рис. Рис.6) и «Северное сияние» (рис. 7). В процессе эксплуатации скважин, расположенных на глубине от поверхности воды до 7500 метра, используется две однотипных ППБУ, которые обеспечивают надежную и эффективную работу буровой установки.

ППБУ оснащены всеми необходимыми системами и оборудованием, которые позволяют проводить бурение скважин для широкого диапазона глубин и при различных внешних условиях.

Платформы предназначены для работы в суровых природно-климатических условиях при наличии битого льда толщиной 0,7 м, высоты волн до 32 м, рассчитаны на температуру до минус 30 °С.

Данные установки являются плавучими самоходными сооружениями катamarанного типа. Они имеют два понтона, шесть стабилизирующих колонн, которые поддерживают верхний корпус четырьмя поперечными диагональными горизонтальными раскоса, а также верхнее строение [3, 6].



Рис. 6. ППБУ «Полярная звезда»



Рис. 7. ППБУ «Северное сияние»

### **Методы исследования**

Анализ различных типов морских ледостойких буровых установок, которые предназначаются для разведочного бурения в суровых арктических условиях, а также подбор наиболее эффективного варианта на основе полученных данных, может быть определен с помощью метода анализа иерархий [7].

Метод анализа иерархий является эффективным инструментом для принятия решений, касающихся сложных проблем, который помогает учесть все факторы и выбрать наилучший вариант. Данный метод позволяет с помощью интерактивного режима найти ту альтернативу, которая лучше всего подходит для решения поставленной проблемы.

Данный метод позволяет структурировать рациональным и понятным образом в иерархичном виде сложную проблему, связанную с принятием решения. Иерархичный вид, в свою очередь, дает возможность сравнения и получения количественной оценки для различных альтернатив.

Принятие решений по методу анализа иерархий начинается с построения структурированной иерархии, включающей в себя цель, критерии и альтернативы [8, 9].

Исследуемый вопрос был сформулирован в виде структурированной иерархии:

1. Цель данного исследования заключается в выборе наиболее эффективной концепции ледостойкой буровой установки для разведочного бурения в арктических условиях;

2. Критерии, по которым будет произведен выбор наиболее эффективной альтернативы:

$K_1$  – мобильность;

$K_2$  – ледостойкость;

$K_3$  – расширенный диапазон глубин;

$K_4$  – инновационность.

3. Возможные альтернативы стационарных платформ и различных плавучих установок для бурения в арктических условиях:

$A_1$  – Самоподъемная плавучая буровая установка (СПБУ);

$A_2$  – Полупогружная плавучая буровая установка (ППБУ);

$A_3$  – Морская ледостойкая стационарная платформа (МЛСП);

$A_4$  – Комбинированная буровая установка (КОМБУ).

### **Результаты исследования**

Следующим этапом является определение веса для ранее сформулированных критериев выбора путем установки приоритетности каждого критерия относительно других. Для этого была составлена матрица  $a_{ij}$ , представляющая собой отношение критерия  $i$  к критерию  $j$ . При этом

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}; a_{ii} = 1$$

Далее производится нормировка матрицы, для этого необходимо определить сумму элементов каждого столбца:

$$S_j = a_{1j} + a_{2j} + a_{3j} + a_{4j}$$

и разделить все элементы матрицы на сумму элементов соответствующего столбца:

$$A_{ij} = \frac{a_{ij}}{S_j}$$

По полученным значениям производятся расчеты среднего значения для каждого критерия. Полученные результаты образуют столбец, который задает вес каждого

критерия с точки зрения целевой функции. Этот столбец называется весовым столбцом критериев, соответствующих цели.

Полученные результаты веса критериев приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Вес критериев**

Критерий	Место	Вес в долях	Вес, %
K <sub>2</sub>	Ледостойкость	1	0,45
K <sub>1</sub>	Мобильность	2	0,34
K <sub>3</sub>	Расширенный диапазон глубин	3	0,17
K <sub>4</sub>	Инновационность	4	0,04

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что наиболее приоритетным критерием для выполнения нашей цели является ледостойкость (45 %), далее следует мобильность (34 %) и расширенный диапазон глубин (17 %). Приоритетность инновационности оценивается наименьшим весовым коэффициентом (4 %).

Аналогичным образом был произведен расчет весов альтернатив различных типов буровых установок и стационарных платформ. Результаты расчета веса альтернатив в долях представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Вес альтернатив**

Альтернатива	Ледостойкость	Мобильность	Расширение диапазона глубин	Инновационность
СПБУ	0,05	0,26	0,23	0,13
ППБУ	0,07	0,38	0,60	0,15
МЛСП	0,57	0,04	0,04	0,04
КОМБУ	0,32	0,32	0,13	0,67

Умножая полученную матрицу на столбец, используя правило строка на столбец (матрично), получаем веса альтернатив с точки зрения достижения цели:

0,05	0,26	0,23	0,13	x	0,45	=	0,15
0,07	0,38	0,60	0,15		0,34		0,27
0,57	0,04	0,04	0,04		0,16		0,28
0,32	0,32	0,13	0,67		0,04		0,30

В результате получаем веса альтернатив с точки зрения достижения поставленной цели. Результаты расчета приоритетности альтернатив представлены в таблице 3.

**Приоритетность альтернатив**

Критерий	Место	Вес	Вес в процентах
СПБУ	4	0,15	15 %
ПШБУ	3	0,27	27 %
МЛСП	2	0,28	28 %
КОМБУ	1	0,30	30 %

На основании проведенного анализа иерархий среди различных типовых конструкций морских сооружений АО «ЦКБ «Коралл» предлагает концепцию комбинированной буровой установки гравитационного типа [10–12], которая представляет собой сооружение, состоящее из:

- ледостойкой металлической буровой платформы, имеющей коническую наклонную поверхность, благодаря которой уменьшается воздействие ледовых нагрузок;
- кольцевой железобетонной (в связи с тем, что железобетон обладает наибольшей прижимной нагрузкой за счет высокого показателя массы) водоизмещающей подставки, благодаря которой становится возможным расширение диапазона эксплуатационных глубин буровой установки [10].

Общий вид предлагаемой КОМБУ представлен на рис. 8.



Рис. 8. Общий вид комбинированной буровой установки

Прототипом стальной платформы выбрано опорное основание стационарного морского ледостойкого отгрузочного причала (СМЛОП) «Варандей» (рис. 9).

Опорное основание данного отгрузочного причала имеет октогональную форму, способную выдерживать максимально высокую ледовую нагрузку (толщина консолидированного слоя тороса 2,9 м).

Конусообразное суженное опорное основание в районе переменной ватерлиний и зоны воздействия льда позволяет обеспечивать равенство волновой и ледовой

нагрузок, а также оптимальные весовые показатели. Размер опорного основания рассчитан таким образом, что при ледовой обстановке образуется канал достаточной ширины, который позволяет безопасно находиться там загружаемому танкеру.

Многолетняя эксплуатация стационарного морского ледостойкого причала подтверждает эффективность применения данного типа основания в сложных ледовых условиях на арктическом шельфе России.



Рис. 9. Общий вид СМЛОП «Варандей»

### Обсуждение

Предлагаемый концептуальный проект комбинированной буровой установки является мобильным, что позволяет его легко транспортировать и устанавливать на буровой площадке. Он может быть транспортироваться с точки бурения на другое место на плаву, с помощью буксирного ордера, по отдельности – стальная платформа и железобетонная подставка (опорное основание), благодаря их положительной плавучести и остойчивости.

Габариты буровой установки позволяют самостоятельно вести работы по разведочному бурению на глубинах моря от 8 до 30 м. Железобетонная подставка. Благодаря высоте 30 м, дает возможность увеличения диапазона глубин до 60 м включительно [12].

Производить удифферентовку водоизмещающей железобетонной подставки можно в любом направлении благодаря тому, что данная подставка выполнена в симметричной восьмигранной форме. Для лучших показателей остойчивости операции по погружению и всплытию буровой установки и водоизмещающей подставки следует проводить при небольшом дифференте. В процессе погружения возможность опрокидывания на таких рабочих глубинах, как 20-60м, исключена, т.к. касание дна одной из оконечностей произойдет ранее опрокидывания.

При разработке концептуального проекта были выбраны архитектурно-конструкторские решения, которые позволяют проводить разведочное бурение в арктических условиях с минимальными рисками для буровой установки. Это достигается благодаря мобильности конструкции, которая позволяет осуществлять быструю транспортировку, постановку на новую точку бурения и снятие с нее. Важным преимуществом является возможность быстрого перемещения на новое место, что особенно актуально при выполнении буровых разведочных работ в

краткосрочный навигационный период в регионах с суровыми климатическими условиями. Предлагаемый комбинированный тип буровой установки позволяет значительно увеличить диапазона глубин и расширить сезон бурения в условиях Арктики.

### **Заключение**

В ходе проведения анализа были рассмотрены четыре возможные альтернативные буровые установки, которые могут быть использованы для расширения разведочного сезона бурения в условиях Арктики и последующей круглогодичной эксплуатацией. Результаты проведенного анализа показали, что наиболее эффективной альтернативой относительно выполнения заданной цели является комбинированная буровая установка.

Концептуальный проект комбинированной погружной буровой установки позволяет проводить круглогодичное поисково-разведочное бурение в сложных ледовых условиях Северного Ледовитого океана на шельфе России, что является решением одной из главных задач, к которым стремятся при проектировании подобного рода буровых установок.

### **Список литературы**

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 г. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 года № 1523-р.
2. Государственная программа Российской Федерации «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений на 2013-2030 годы». Утверждена постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 № 304.
3. Игнатович В.С., Кузьмина А.В., Родькина А.В. Исследования основных характеристик полупогружных плавучих буровых установок на начальных стадиях проектирования // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Морская техника и технология. 2018. № 1 (Февраль). С. 7–15. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-1-7-15.
4. Мусабирова А.А. Разработка и исследование применимости новой конструкции ледостойких платформ на мелководном арктическом шельфе: дисс. канд. техн. наук. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2013. 119 с.
5. InnoRig 21C-The super safe jack-up of the future. Offshore Technology International. 2012. URL: <http://www.offshore-publication.com> (дата обращения 20.08.2022).
6. Deutsche Oel & Gas. Drilling of natural gas well KLU A-2 off to a successful start. 2016. URL: <http://www.deutsche-oel-gas.com> (дата обращения 20.08.2022).
7. Саати Т., Вачнадзе Р.Г. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
8. Орлов А.И. Теория принятия решений: Учебное пособие. М: Изд. «Март», 2004. 656 с.
9. Покусаев М.Н., Панасенко Н.Н., Синельщиков А.В., Яковлев П.В. Техногенные риски освоения шельфа каспийского моря // Учредители: Астраханский государственный технический университет. Вестник Астраханского государственного технического университета. серия: морская техника и технология. ISSN: 2073-1574eISSN: 2225-0352. 2020, № 4. С. 36–52. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2020-4-36-52>
10. Жданев О.В., Фролов К.Н., Коныгин А.Е., Гехаев М.Р. Разведочное бурение на арктическом и дальневосточном шельфе России // Арктика: экология и экономика. 2020. № 3 (39). С. 112–125. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-3-112-125.
11. Иванова О.А., Благовидова И.Л., Родькина А.В. Система критериев для сопоставления и оценки применимости различных типов буровых установок в суровых климатических условиях // Научные проблемы водного транспорта. Выпуск 65. Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. С. 37–53. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.126>
12. Амосова Н.В., Благовидова И.Л., Иванова О.А., Иванова Н.С., Пьянов А.В. Концептуальные проектные решения для погружной буровой установки для круглогодичного бурения в арктических условиях // Судостроение. 2021. № 4 (857). С. 24–28. ISSN: 0039-4580. DOI: 10.54068/00394580\_2021\_4\_24

### References

1. Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2035 g. [The Energy Strategy of Russia for the period up to 2035] Utverzhdena rasporyazheniyem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 09.06.2020 goda № 1523-р. (In Russ).
2. Gosudarstvennaya programma Rossiyskoy Federatsii «Razvitiye sudostroyeniya i tekhniki dlya osvoyeniya shel'fovyykh mestorozhdeniy na 2013-2030 gody». [State program of the Russian Federation "Development of shipbuilding and equipment for the development of offshore fields for 2013-2030"] Utverzhdena postanovleniyem Pravitel'stva RF ot 15.04.2014 № 304. (In Russ).
3. Ignatovich V.S., Kuz'mina A.V., Rodkina A.V. Issledovaniya osnovnykh kharakteristik polupogruzhnykh plavuchikh burovykh ustanovok na nachal'nykh stadiyakh proyektirovaniya [Studies of the main characteristics of semi-submersible floating drilling rigs at the initial stages of design] Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2018. № 1 (Fevral'). S. 7–15. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-1-7-15. (In Russ).
4. Musabirova A.A. Razrabotka i issledovaniye primenimosti novoy konstruksii ledostoykikh platform na melkovodnom arkticheskom shel'fe [Development and study of the applicability of a new design of ice-resistant platforms on the shallow Arctic shelf] : diss. kand. tekhn. nauk. M.: RGU nefti i gaza im. I.M. Gubkina, 2013. 119 s. (In Russ).
5. InnoRig 21C-The super safe jack-up of the future. Offshore Technology International. 2012. Available at: <<http://www.offshore-publication.com>> (accessed 20.08.2022).
6. Deutsche Oel & Gas. Drilling of natural gas well KLU A-2 off to a successful start. 2016. Available at: <<http://www.deutsche-oel-gas.com>> (accessed 20.08.2022).
7. Saati T., Vachnadze R.G. Prinyatiye resheniy. Metod analiza iyerarkhiy [Making decisions. Hierarchy Analysis Method]. Moscow, Radio and communications, 1993, 278 p. (In Russ).
8. Orlov A.I. Teoriya prinyatiya resheniy [Decision Theory]: Uchebnoye posobiye. M: Izd. «Mart», 2004. 656 s. (In Russ).
9. Pokusayev M.N., Panasenko N.N., Sinel'shchikov A.V., Yakovlev P.V. Tekhnogennyye riski osvoyeniya shel'fa kaspyskogo morya [Technogenic risks of the development of the Caspian Sea shelf] Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. seriya: morskaya tekhnika i tekhnologiya. ISSN: 2073-1574eISSN: 2225-0352. 2020, № 4. S. 36–52. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2020-4-36-52>. (In Russ).
10. Zhdaneyev O.V., Frolov K.N., Konygin A.Ye., Gekhayevev M.R. Razvedochnoye bureniye na arkticheskom i dal'nevostochnom shel'fe Rossii [Exploration drilling on the Arctic and Far Eastern shelf of Russia] Arktika: ekologiya i ekonomika. 2020. № 3 (39). S. 112–125. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-3-112-125. (In Russ).
11. Ivanova O.A., Blagovidova I.L., Rodkina A.V. Sistema kriteriyev dlya sopostavleniya i otsenki primenimosti razlichnykh tipov burovykh ustanovok v surovyykh klimaticheskikh usloviyakh [A system of criteria for comparing and evaluating the applicability of various types of drilling rigs in harsh climatic conditions]. Nauchnyye problemy vodnogo transporta, 2020, no. 65, pp. 37-53. (In Russian). DOI: 10.37890/jwt.vi65.126. (In Russ).
12. Amosova N.V., Blagovidova I.L., Ivanova O.A., Ivanova N.S., P'yanov A.V. Kontseptual'nyye proyektnyye resheniya dlya pogruzhnoy burovoy ustanovki dlya kruglogodichnogo bureniya v arkticheskikh usloviyakh [Conceptual design solutions for a submersible drilling rig for year-round drilling in arctic conditions] Sudostroyeniye. 2021. № 4 (857). S. 24–28. ISSN: 0039-4580. DOI: 10.54068/00394580\_2021\_4\_24. (In Russ).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Хвалимова Александра Андреевна**  
инженер-конструктор АО «ЦКБ «Коралл»,  
299045, г. Севастополь, ул. Репина, 1; студент  
ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет», 299053,  
г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail:  
sasahvalimova47246@gmail.com

**Alexandra A. Khvalimova**  
design-engineer of General Engineering and  
Naval Architecture Department 11, General  
Engineering Office 111, «Corall» JSC  
Central Design Bureau, 1, Repina st.,  
Sevastopol; 299045; student Sevastopol  
State University, 33, Universitetskaya st.,

Sevastopol; 299028

**Крамарь Вадим Александрович**  
д-р техн. наук, профессор кафедры  
«Информатика и управление в технических  
системах» ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет», 299053,  
г. Севастополь, ул. Университетская, 33,  
e-mail: vakramar@sevsu.ru

**Vadim A., Kramar**  
D.Sc.(Tech.), Professor of the Department of  
Informatics and Control in Technical  
Systems, Sevastopol State University, 33,  
Universitetskaya st., Sevastopol, 299053

**Родкина Анна Владимировна**  
канд. техн. наук, доцент кафедры  
«Инновационное судостроение и технологии  
освоения шельфа» ФГАОУ ВО  
«Севастопольский государственный  
университет», 299053, г. Севастополь,  
ул. Университетская, 33,  
e-mail: a.v.rodkina@mail.ru

**Anna V. Rodkina**  
Ph.D. in Engineering Science, Assistant  
Professor of the Department of Innovative  
shipbuilding and shelf development  
technologies, Sevastopol State University,  
33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053

**Иванова Ольга Александровна**  
канд. техн. наук, доцент кафедры  
«Океанотехника и кораблестроение»  
ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет», 299053,  
г. Севастополь, ул. Университетская, 33,  
e-mail: o.a.ivanova.kmt@mail.ru

**Olga A. Ivanova**  
Ph.D. in Engineering Science, Assistant  
Professor of the Department of Ocean  
Technology and Shipbuilding, Sevastopol  
State University, 33, Universitetskaya st.,  
Sevastopol, 299053

Статья поступила в редакцию 22.06.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 22.06.2023; published online 20.09.2023.

УДК 531.391.1:532.5.011

DOI: 10.37890/jwt.vi76.388

## **Исследование влияния формы кормовой оконечности маломерного судна на его гидродинамические характеристики**

**Е.Ю. Чебан<sup>1</sup>**

<https://orcid.org/0000-0002-0983-9879>

**О.В. Мартемьянова<sup>1</sup>**

<https://orcid.org/0000-0001-9013-8510>

**М.Ю. Поляшова<sup>1</sup>**

<https://orcid.org/0009-0000-3098-4432>

**А.А. Мольков<sup>2</sup>**

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

<sup>1</sup>*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия*

<sup>2</sup>*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия*

**Аннотация.** Определение главных размерений маломерных судов при их проектировании является важной и сложной задачей ввиду большого количества взаимоисключающих друг друга факторов, влияющих на гидродинамические характеристики таких судов. Существующие закономерности для определения длины, ширины и осадки маломерных судов носят достаточно общий или нормативный характер, что усложняет их использование для судна конкретной конструкции. В этом случае необходима проверка технических решений, одним из способов которой может быть использование методов вычислительной гидродинамики (CFD). В настоящей работе приведены результаты численного моделирования движения катера в переходном режиме при числах Фруда до 1,2. Описан процесс подготовки и численного моделирования аэродинамики составного крыла в программном комплексе NUMECA/FineMarine™, обоснован выбор модели турбулентности и параметры расчетной сетки, в том числе разрешение пограничного слоя. Выполненное исследование влияния трех вариантов ширины и формы кормовой оконечности на изменение осадки, угла дифферента, смоченной поверхности и сопротивления катера. Увеличение ширины плоской глиссирующей части кормовой оконечности благоприятно сказывается на гидродинамических характеристиках маломерного судна даже при движении в переходном режиме при L/B от 3,5 до 3,99. В то же время использование расширения подводной части кормовой оконечности требует более подробного исследования.

**Ключевые слова:** численное моделирование, глиссирование, скоростное судно, дельфинирование, буксировочные испытания, NUMECA/FineMarine™, форма корпуса, гидродинамическое качество

## **Study of the influence of the vessel stern shape on its hydrodynamic characteristics**

**E.Yu. Cheban<sup>1</sup>**

<https://orcid.org/0000-0002-0983-9879>

**O.V. Martemianova<sup>1</sup>**

<https://orcid.org/0000-0001-9013-8510>

**M.Yu. Polyashova<sup>1</sup>**

<https://orcid.org/0009-0000-3098-4432>

**A.A. Mol'kov<sup>2</sup>**

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

<sup>1</sup>*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

<sup>2</sup>*Institute of applied physics of the Russian academy of sciences, Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** Determining the main dimensions of the small vessels while designing is an important and difficult task due to the large number of mutually exclusive factors affecting the hydrodynamic characteristics of such vessels. The existing patterns for determining the length, width and draft of small vessels are quite general. This complicates their usage for the vessel of a specific design. In this case, it is necessary to check technical solutions, one of the ways that may be implied is the usage of computational fluid dynamics (CFD) methods. This paper presents the results of the numerical simulation of boat movement in the transient mode with Froude numbers up to 1.2. The process of preparation and numerical modeling of the aerodynamics of a composite wing in the NUMECA/FineMarine™ software package is described, the choice of the turbulence model and the parameters of the computational grid, including the resolution of the boundary layer, is justified. The study of the influence of three variants of the width and shape of the aft tip on the change in draft, trim angle, wetted surface and resistance of the boat is carried out. An increase in the width of the flat planing part of the aft tip has a favorable effect on the hydrodynamic characteristics of a small vessel, even when moving in transition mode at L/B from 3.5 to 3.99. At the same time, the use of the extension of the underwater part of the aft tip requires a more detailed study.

**Keywords:** Numerical modeling, planing, high-speed vessel, delfining, towing tests, NUMECA/FineMarine™, hull shape, hydrodynamic quality

### **Введение**

Разработка и производство скоростных маломерных судов различного назначения в настоящее время является важной отраслью экономики и требует привлечения высоких технологий практически на всех этапах жизненного цикла. Это связано в первую очередь, со сложностью гидро- и аэродинамических процессов, происходящих при их движении. Гидродинамические характеристики (ГДХ) скоростных маломерных судов обусловлены взаимодействием корпуса судна и его элементов (реданов, подводных крыльев и т.п.) со свободной поверхностью жидкости и потоком воздуха при высоких скоростях движения. Это вызывает в свою очередь возникновение отрывных течений, брызгообразование, удар о поверхность воды, кавитацию и другие гидродинамические явления, учет которых крайне сложен при проектировании конкретного судна. Важность изучения влияния геометрии корпуса на ГДХ обусловлена все большим распространением судов с пониженным уровнем потребления топлива и выбросов от энергетической установки, а также и полностью электрических судов, что требует более точного определения необходимой мощности двигателей и максимально возможного снижения сопротивления для обеспечения необходимой скорости и дальности плавания.

Исследованию влияния формы корпуса на ГДХ скоростных маломерных судов посвящено большое число исследовательских работ. Первые исследования в этой области относятся еще к началу XX века: призматические глиссирующие поверхности, Baker [1]; комплексные эксперименты в области гидродинамики глиссеров, Зотторф [2]. Большой объем экспериментальных данных, описывающих ГДХ глиссирующей пластины с постоянной килеватостью при фиксированной посадке судна и постоянной скорости, представлен в работах Shoemaker [3], Sambraus [4], Locke [5].

В 1947 году в лаборатории Дэвидсона Института технологий Стивенсона были проведены теоретические и экспериментальные исследования глиссирования и получены закономерности, описывающие всплытие глиссирующей поверхности, сопротивление, смоченную поверхность, распределение давления, воздействующие силы, форму кильватерного следа, формирование брызг, динамическую устойчивость.

Особого внимания заслуживают работы Корвин-Кроковского и Савитски [6] по исследованию глиссирования, включая исследование сопротивления и подъемной силы для смоченной поверхности. Позже Мюррэй [7] использовал их результаты для разработки методов расчета параметров глиссирования. В 1954 году Савитский и Нейдингер [8] разработали эмпирические способы описания глиссирования и увеличили диапазон применимости полученных ранее уравнений. В области гидродинамики реданных корпусов большой объем исследований был выполнен Е. Клементом [9]. Среди отечественных ученых, исследованиями в области глиссирования занимались многие выдающиеся гидродинамики: Г.Е. Павленко, С.А. Чаплыгин, Н.А. Соколов, Н.С. Володин, А.М. Ваганов [18], К.П. Харитонов, Я.И. Войткунский, В.И. Блюмин, Л.А. Иванов, М.Б. Масеев, Л.И. Седов [10], И.Т. Егоров, В.Т. Сколов [11]. В результате их исследований были разработаны основы современной теории глиссирования, методы оценки сопротивления глиссирующих судов, подходы к проектированию скоростных судов.

Однако практически во всех работах приведены закономерности для главных размерений корпусов скоростных судов в достаточно широком диапазоне их изменения, что соответственно приводит к изменению ГДХ так же в широком диапазоне. С другой стороны, даже незначительное изменение длины или ширины судна приводит к существенному перераспределению давлений по поверхности корпуса и изменению характера движения судна, вплоть до возникновения аварийных ситуаций [23]. Это вызывает необходимость проверки соответствия ГДХ конкретного спроектированного судна требованиям заказчика или нормативных документов.

В настоящей работе исследовалось влияние изменения ширины кормовой оконечности маломерного судна на его гидродинамические характеристики с помощью методов вычислительной гидродинамики (CFD).

## **1. Обоснование параметров численного моделирования в CFD-пакете NUMECA/FineMarine™**

Использование методов вычислительной гидродинамики (CFD) для исследования гидродинамики скоростных, в том числе маломерных судов, позволяет не только определять сопротивление движению, но и получать дополнительную информацию о распределении давлений по поверхности корпуса, а также данные об изменении посадки судна при его движении. В данной работе использовался программный комплекс NUMECA/FineMarine™, основанный на подходе RANS и предназначенный для решения специализированных задач корабельной гидродинамики, включая определение сопротивления движению судна, расчет маневренных качеств, моделирование кавитации и работы движителей [14-17, 20].

Выполненные ранее исследования гидродинамики скоростных маломерных судов в условиях ходовых испытаний с помощью программного комплекса NUMECA/FineMarine™, свидетельствуют о хорошем соответствии результатов экспериментов и численного моделирования [14-17, 20]. Например, сравнение результатов численного моделирования и натурных буксировочных испытаний модели катера длиной 1,35 м (в масштабе 1:4), предоставленных ООО «НПП «Спиннинглайн боатс» [20] позволило сделать вывод о достаточной точности численного моделирования с использованием NUMECA/FineMarine™ (см. рис.1). Как показано в работе [20] отличия в результатах численного моделирования и эксперимента обусловлены неучтенными факторами во время испытаний на открытой воде (ветер, течения, влияние судна-буксировщика) и дельфинированием катера при его движении. В то же время точность полученных результатов позволяет использовать аналогичные настройки, в том числе сетку для аналогичных случаев исследования гидродинамики глиссирующих судов.

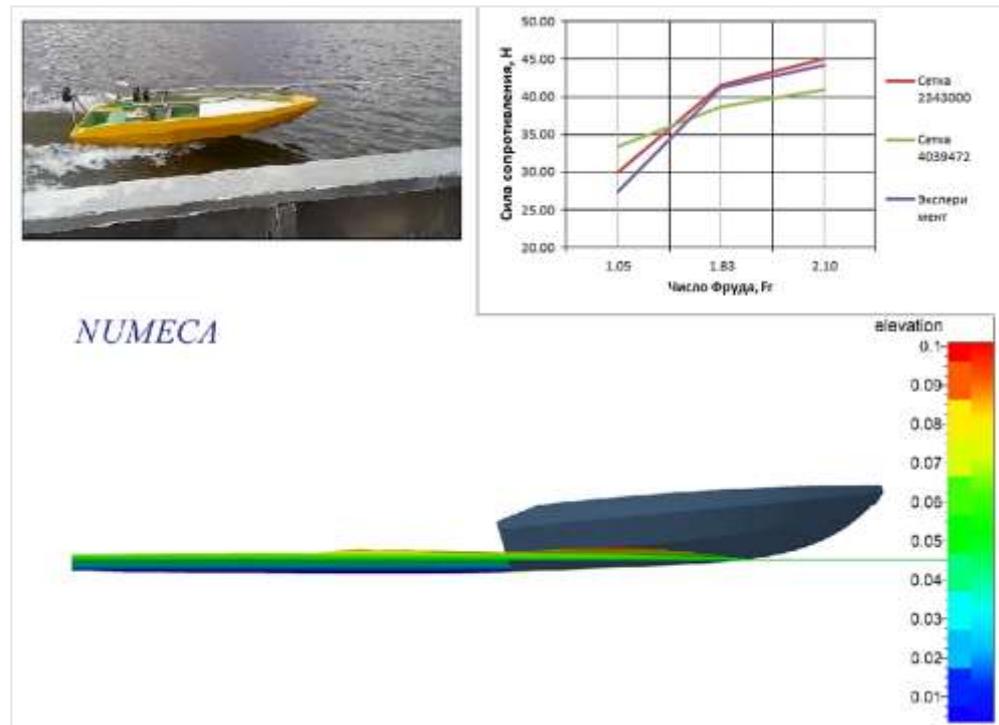


Рис. 1. Результаты численного моделирования буксировочных испытаний катера на открытой воде

## 2. Описание объекта исследования и его гидродинамических особенностей.

Основной задачей настоящей работы являлось изучение влияния формы кормовой оконечности корпуса маломерного судна на его гидродинамические характеристики.

В качестве прототипа для исследования использовался катер «Ретро-850», характеристики которого приведены в табл. 1, внешний вид судна показан на рис. 2. Выбор данного судна в качестве объекта исследования обусловлен соотношением главных размерений судна, в первую очередь  $L/B$ . Например, в соответствии с [18] для глиссирующих судов отношение  $L/B$  может быть определено по формулам:

$$L/B = 1,45\sqrt{L - 0,002L^2} \quad (1)$$

$$L/B = (0,1L + 2,3) \pm 0,25 \quad (2)$$



Рис. 2. Внешний вид катера «Ретро 850»

Таблица 1

**Технические характеристики катера «Ретро-850»**

	Характеристика	Значение
1.	Длина, (наибольшая), м	9,1
2.	Длина по КВЛ, м	8,61
3.	Ширина (наибольшая), мм	2,45
4.	Высота, (наибольшая), мм	2,6
5.	L/B	3,51
6.	B/T	4,71
7.	Вес без топлива, т	3.5
8.	Запас топлива, л	600
9.	Запас воды, л	180
10.	Пассажировместимость, чел	6
11.	Осадка порожнем, мм	450
12.	Осадка в грузу, мм	520
13.	Двигатель	MerCruiser 5.0
14.	Мощность, л.с.	220
15.	Движитель	откидная колонка Alpha One

Исходной для определения соотношения L/B является длина корпуса судна, далее определяется ширина – ключевой параметр глиссирующего судна, поскольку ширина определяет гидродинамическое качество судна. С другой стороны, гидродинамическое качество зависит от центровки и значения коэффициента динамической нагрузки  $C_D$ . Увеличение ширины приводит к снижению величины коэффициента  $C_D$  и возникновению неустойчивого вертикально-продольного движения, приводящего к рикошетированию. Сопротивление в этом случае возрастает, а гидродинамическое качество падает. С другой стороны, существенное уменьшение ширины отрицательно влияет на начальную остойчивость и поперечную динамическую остойчивость, затрудняет выход на режим глиссирования из-за увеличения протяженности «горба сопротивления», но происходит улучшение продольной остойчивости и повышение мореходности из-за снижения динамических нагрузок при ударах о поверхность воды.

Ширина глиссирующего судна также определяется соотношением B/T, влияние которого проявляется в водоизмещающем и переходном режимах движения, определяя путь и время при разгоне. Увеличение B/T ускоряет выход на режим глиссирования, при ухудшении мореходности судна.

Особенностью катера является его движение при числах Фруда в диапазоне 0,326 – 1,197 (табл. 2), что недостаточно для развитого глиссирования ( $Fr=2-5$ ) и соответствует скорее переходному режиму и еще больше усложняет задачу определения необходимой ширины корпуса.

Можно отметить, что сами рекомендации по величине отношения L/B основываются по большей части на статистических данных и опыте проектирования подобных судов. Например, формулы (1) и (2) дают различные результаты, хотя могут использоваться для судов одних и тех же размерений. Большинство рекомендаций, отраженных в результатах научных исследований относятся к достаточно большим глиссирующим судам, длиной более 10 м и движущихся в режиме устойчивого глиссирования. Таким образом, некоторые вопросы гидродинамики маломерных судов остаются не до конца исследованными.

Таблица 2

**Числа Фруда и Рейнольдса при различных скоростях движения катера**

Скорость, м/с	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Число Фруда (Fr)	0,326	0,435	0,544	0,653	0,761	0,87	0,979	1,088	1,197
Число Рейнольдса (Re) · 10 <sup>7</sup>	8,31	7,55	6,661	6,045	5,289	4,53	3,778	3,022	2,267

Таким образом, определение ширины глиссирующего судна, особенно небольших размерений, представляет собой сложную задачу, при решении которой необходимо учитывать множество факторов, в том числе противоречащих друг другу.

При первоначальной проработке главных размерений катера было определено, что ширина корпуса исходя из условия обеспечения остойчивости, размещения людей, систем и устройств и т.д. может составлять от 2,16 м до 2,46 м. Соответственно были смоделированы три варианта кормовых обводов корпуса:

- «вариант 1» (B=2,16м., L/B=3,99; рис. 3а);
- «вариант 2» (B=2,34м., L/B=3,68; рис. 3б);
- «вариант 3» (B=2,46м., L/B=3,5; рис. 3в).

Корпус «вариант 3» имеет расширение в форме крыльцевого профиля, исходя из предположения о возможности создания дополнительной подъемной силы.

### 3. Численное моделирование гидродинамики катера

Для численного моделирования была разработана твердотельная геометрия катера с разной формой обводов в кормовой части, представленная на рис. 3. Носовые обводы оставались постоянными, как и килеватость корпуса.

Численное моделирование выполнялось в CFD пакете NUMECA/FineMarine™, основанном на подходе RANS и предназначенном для решения задач корабельной гидродинамики.

В исследовании рассматривалась только гидродинамика корпуса, поэтому моделирование аэродинамики надстройки не выполнялось, и геометрия была разработана только на уровне палубы катера. В то же время влияние потока воздуха на корпус выше поверхности воды, а также взаимодействие сред при моделировании учитывалось с помощью функции VOF, позволяющей отобразить свободную поверхность жидкости.

Параметры расчетной области и граничные условия выбирались в соответствии с рекомендациями [13, 14] с удлинением в кормовую часть не менее пяти длин судна для точного расчета гидродинамического следа за катером (рис. 4). Итоговые размеры расчетной области составили:

- длина в нос – 12 м;
- ширина – 17,5 м;
- длина в корму – 40 м;
- глубина – 15,7 м.

Ввиду симметрии моделировалась только половина катера по диаметральной плоскости с установкой граничного условия «симметрия». Расстановка граничных условий на гранях расчетного домена и их описание приведены в табл. 3.

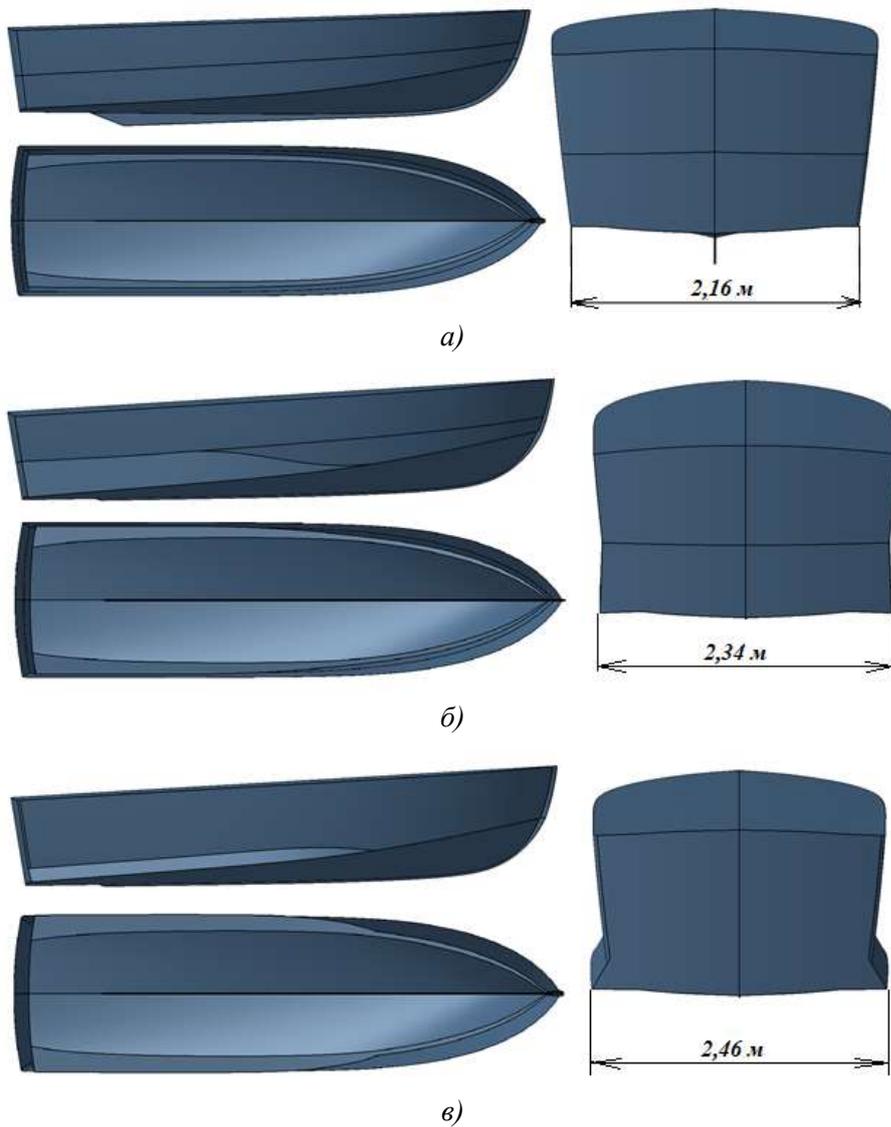


Рис. 3. Твёрдотельная геометрия для численного моделирования: а) – «вариант 1» (В=2,16 м); б) «вариант 2» (В=2,34м); в) «вариант 3» (В=2,43м).

Для моделирования использовалась неструктурированная расчетная сетка, параметры которой приведены в табл.4. Для более детального разрешения волновой поверхности и брызгообразования в кормовой части было выполнено дополнительное измельчение сетки в районе кормовой оконечности в виде сектора и бокса (рис.5).

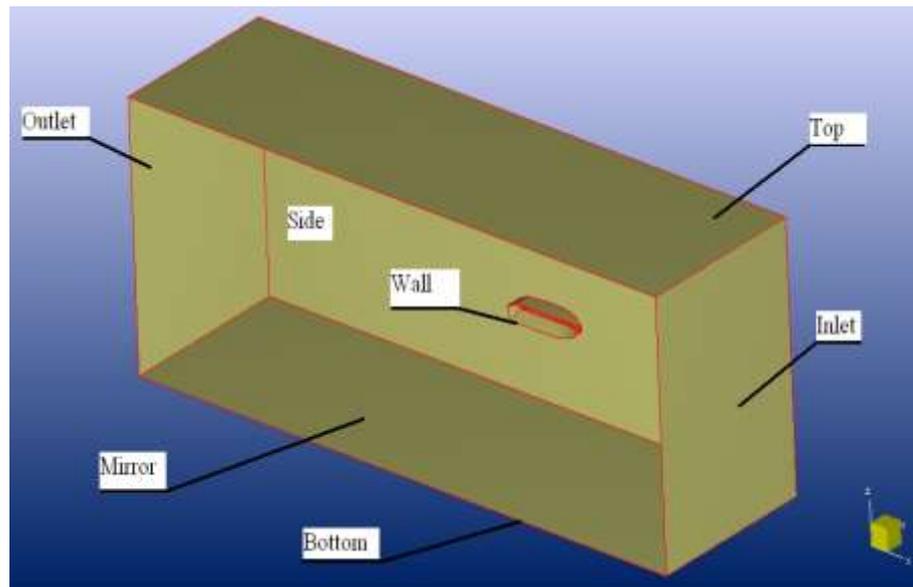


Рис. 4. Общий вид и размеры расчетной области

Таблица 3

**Граничные условия на границах расчетного домена**

Грани	Тип граничного условия
Верх и дно (Top and bottom)	«Prescribed pressure» > «Updated hydrostatic pressure»
Выход-вход-боковая грань (Outlet, Side, Inlet)	«Far field» (velocity components equal to zero)
Плоскость симметрии (Mirror)	«mirror» (symmetry – равенство нулю нормальных и касательных составляющих скорости)
Корпус катера	all solids – «Wall function» – пристеночные функции
Палуба	«Slip» (zero shear stress)

Таблица 4

**Параметры расчетной сетки**

	Параметры сетки
Начальная сетка	2688 (28x8x12)
Адаптация геометрии:	
дно	6
борт	6
транец	8
дно (плоская часть)	7
киль	9
свободная поверхность	8
Разрешение пограничного слоя $y^+ = 50$	$18, y_{wall} = 2,9045 \cdot 10^{-4}$
Итоговое количество ячеек	Вариант 1 - 3580429 Вариант 2 - 3548357 Вариант 3 - 3484375
Измельчение в области волновой поверхности за кормой:	
- бокс	8
- сектор	8

Параметр  $u^+$  в соответствии с [13,14] достигал значения 50, т.к. судно движется в режиме близком к глиссированию и сопротивление трения имеет тенденцию к снижению. Значение  $y_{wall}=2,9045 \cdot 10^{-4}$ , количество призматических слоев на несущих поверхностях корпуса – до 18.

Задача решалась в нестационарной постановке, судно имело три степени свободы: движение вперед, вращение относительно оси  $y$  и всплытие (перемещение вдоль оси  $z$ ). Постановка задачи – прямая: судно движется в неподвижной жидкости. Разгонный участок определялся законом  $1/2$  синусоиды и 7 секунд при скорости 3 м/с с последующим увеличением времени разгона.

Параметры расчета приведены в таблице 5.

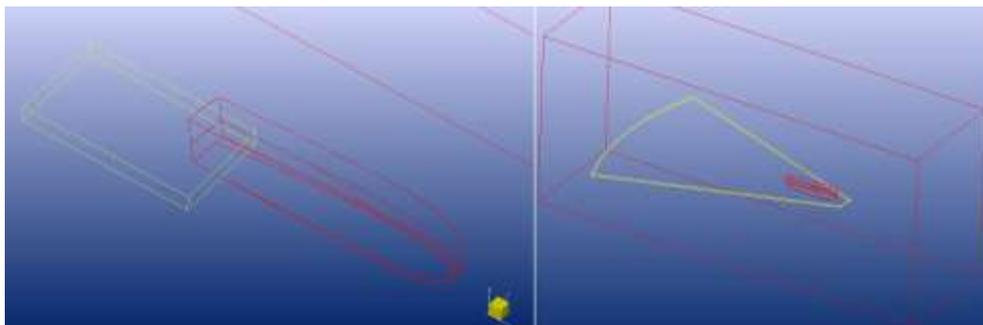


Рис.5. Области дополнительного измельчения сетки

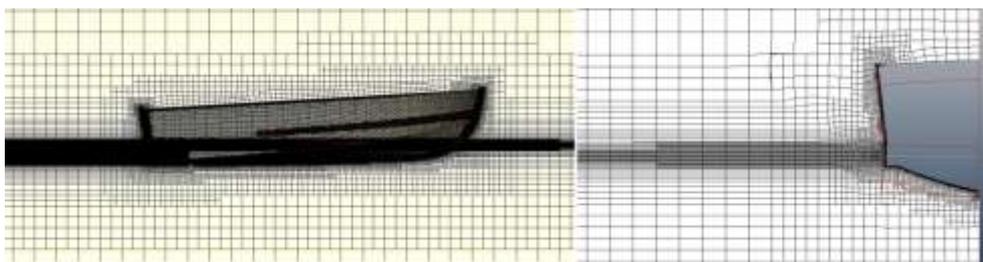


Рис.6. Общий вид сетки

Таблица 5

**Параметры расчета**

	Параметр	Значение
1.	Количество степеней свободы	3
2.	Постановка	нестационарная задача
3.	Схема дискретизации по времени:	2 порядка назад
4.	Модель турбулентности	К- $\omega$ SST модель турбулентности с пристеночными функциями

**4. Результаты и обсуждение**

Результаты численного моделирования представлены в виде графиков различных характеристик на рис. 7-9. При моделировании корпуса «вариант 3» массой 4,88 кг возник сильный эффект рикошетирования корпуса при скоростях выше 9,0 м/с, приводящий к интенсивному раскачиванию и в последующем, затоплению корпуса. В связи с этим водоизмещение катера было уменьшено до 3,8 т за счет снижения пассажироместимости, запасов топлива, воды и т.д. Для сравнения результатов с предыдущими вариантами, был также облегчен катер «вариант 2» до 3,8 т.

Из анализа графиков видно, что осадки облегченных вариантов катера оказались меньше, в то же время катер «вариант 2» шириной 2,34 м также имеет меньшую осадку, несмотря на большее водоизмещение, однако уменьшения осадки недостаточно для утверждения о выходе судна на режим глиссирования.

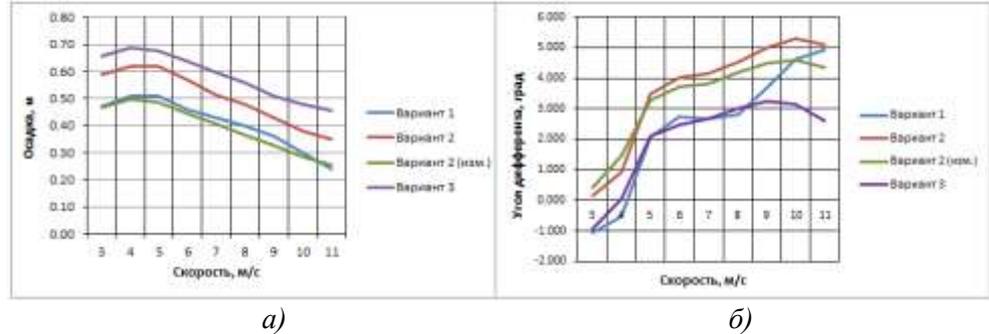


Рис. 7. Изменение посадки катера в зависимости от скорости движения. а) изменение осадки, м; б) изменение угла дифферента, град.

Это подтверждается графиками изменения осадки (угол со знаком «-» означает изменение угла в нос, «+» – в корму), причем облегченные корпуса имеют практически одинаковую тенденцию изменения углов дифферента. Наибольшее изменение углов дифферента происходит при скоростях от 3 до 5 м/с, и при 9-10 м/с графики дифферента проходят максимум углов за исключением «варианта 1», для которого максимум наблюдается при 11 м/с. Аналогично ведут себя и графики сопротивления (рис. 9), проходя «горб сопротивления» для вариантов 1 и 2 при скоростях 9-10 м/с. Сопротивление для облегченных вариантов предсказуемо оказывается ниже, и по всей видимости, большее расширение корпуса не приводит к изменению сопротивления (графики на рис. 9 для этих вариантов практически неотличимы и накладываются друг на друга). С учетом неудачного моделирования «варианта 3» водоизмещением 4,88 т, можно предположить, что использование крыльевого профиля кормового расширения корпуса нуждается в более детальной проработке.

Анализ волновой поверхности показывает, что генерируемые облегченными корпусами волны, значительно ниже вариантов 1 и 2 (рис. 10). Ширина области брызгообразования меньше всего у «варианта 2» (рис. 11), кроме того, она незначительно перемещаются в корму, но по всей видимости достаточно для снижения общего сопротивления и увеличения угла дифферента. В то же время, можно считать, что увеличение ширины благоприятно сказывается на гидродинамических характеристиках катера при его движении даже в переходном режиме.

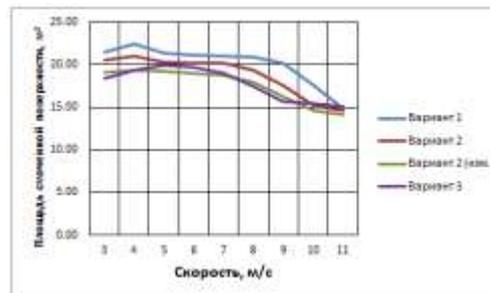


Рис. 8. Изменение площади смоченной

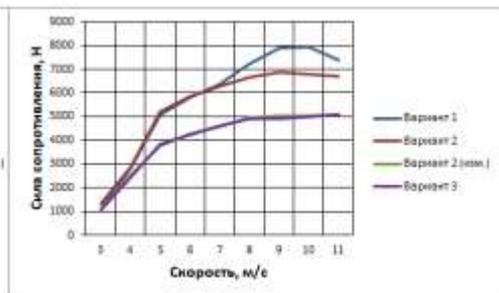


Рис. 9. Сопротивление корпусов различной

поверхности для корпусов различной ширины ширины

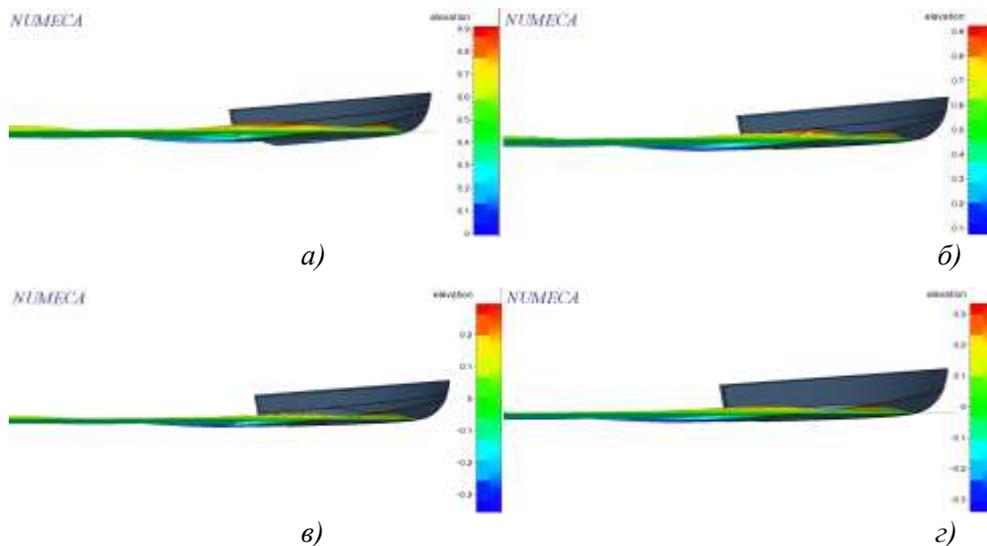


Рис. 10. Волновая поверхность и посадка корпусов катера с различной шириной кормовой части при скорости 11 м/с: а) «вариант 1»; б) «вариант 2»; в) «вариант 2 (изм.)»; г) «вариант 3».

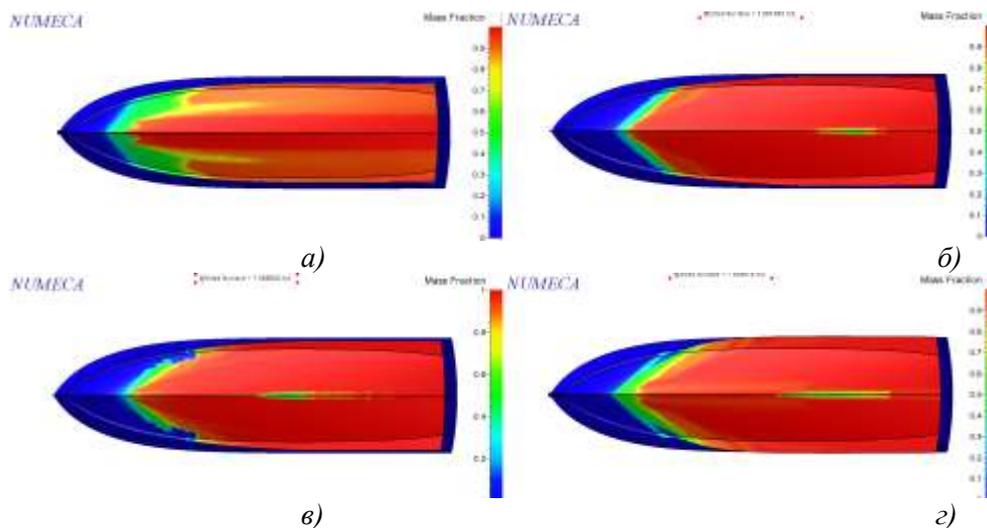


Рис. 11. Сопоставление смоченной поверхности корпусов с различной шириной кормовой части при скорости 11 м/с: а) «вариант 1»; б) «вариант 2»; в) «вариант 2 (изм.)»; г) «вариант 3».

### 5. Заключение

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния ширины и формы кормовой оконечности катера, движущегося в переходном режиме при числе Фруда порядка 1,2. С помощью методов вычислительной гидродинамики исследованы три варианта формы кормовой оконечности и получены данные для сопротивления, осадки, угла дифферента и смоченной поверхности. Описаны параметры численного расчета и подходы к построению расчетной сетки на основе испытаний модели глиссирующего судна.

### Благодарности

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

### Список литературы

1. Baker G.S. Some Experiments in Connection with the Design of Floats for Hydro-Aeroplanes, ARC (British) R & M, № 70, 1912.
2. Sottorf W. Experiments With Planing Surfaces, NACA TM 661, 1932 and NACA TM 739, 1934.
3. Shoemaker J.M. Tank Tests of Flat and Vee-Bottom Planing Surfaces, NACA TN 509, November 1934.
4. Sembraus A. Planing Surface Tests at Large Froude Numbers-Airfoil Comparison, NACA TM №. 848, February 1938.
5. Locke Jr., F.W.S. Tests of a Flat Bottom Planing Surface to Determine the Inception of Planing, Navy Department, BuAer, [Research Division Report No. 1096], December 1948.
6. Korvin-Kroukovsky B.V., Savitsky D., Lehman W. Wetted Area and Center of Pressure of Planing Surfaces, Stevens Institute of Technology, Davidson Laboratory Report №. 360, August 1949.
7. Murray A.B. The Hydrodynamics of Planing Hulls, [Meeting of the New England Section of SNAME, February 1950], 1950.
8. Savitsky D., Neiclinger J.W. Wetted Area and Center of Pressure of Planing Surfaces at Very Low Speed Coefficients, Stevens Institute of Technology, [Davidson Laboratory Report №. 498], July 1954.
9. Clement E.P. A configuration for a stepped planning boat having minimum drag (dynaplane boat). Monograph. Second edition. 2005 (published by author), 76p.
10. Седов Л.И. Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики. Изд. 2, исп. – М.: Изд-во «Наука», 1966. 448 с.
11. Егоров И.Т., Соколов В.Т. Гидродинамика быстроходных судов. – Л.: Судостроение, 1971. 424 с.
12. Theoretical Manual ISIS-CFD v7.1 Equipe Modélisation Numérique, Laboratoire de Mécanique des Fluides, CNRS-UMR 6598, Ecole Centrale de Nantes, B.P. 92101, 44321 Nantes Cedex 3, France.
13. User Manual FINET<sup>TM</sup>/Marine v7.1, Documentation v3.1a NUMECA International, 187-189, Chaussee de la Hulpe 1170 Brussels, Belgium.
14. Garo R., Imas L. Hydrodynamic Performance of a Submerged Lifting Surface Operating at High Speed, [4th High Performance Yacht Design Conference], 2012.
15. Wackers J., Ait Said K., Deng Gan Bo, Queutey P., Visonneau M., Mizine I. Adaptive Grid Refinement Applied to RANS Ship Flow Computation, [28th Symposium on Naval Hydrodynamics], 2010.
16. Roux Y., Wackers J., Dorez L. Slamming computation on the multihull Groupama 3, [The second international conference on innovation in high performance sailing yachts, 30 June - 1 July 2010 «Innovsail 2010»], 2010.
17. Wackers J, Ait Said K, Deng GB, Queutey P, Visonneau M, Mizine I. Adaptive grid refinement applied to RANS ship flow computation. In: [28th Symposium on naval hydrodynamics]. Pasadena, California; 2010.
18. Ваганов А.М. Проектирование скоростных судов. – Л.: Изд-во «Судостроение», 1978 - 280с.
19. Даняев А. Гидродинамика и «рюшечки» // «Катера и яхты», 2 (224), 2010, С. 44-49.
20. Чебан, Е.Ю. Исследование влияния некоторых особенностей формы корпусов глиссирующих судов на их сопротивление численными методами / Е.Ю. Чебан, Д.В. Никущенко // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2017. – № 48-49. – С. 59-69. – EDN ZULPNP.
21. Исследование влияния формы катера типа "RIB" на его гидродинамические характеристики численными методами / Е.Ю. Чебан, О.В. Мартемьянова, С.В. Гачев, А.А. Мухина // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2019. – № 59. – С. 79-90. – EDN CQMOIC.

### References

1. Baker G.S. Some Experiments in Connection with the Design of Floats for Hydro-Aeroplanes, ARC (British) R & M, № 70, 1912.
2. Sottorf W. Experiments With Planing Surfaces, NACA TM 661, 1932 and NACA TM 739, 1934.
3. Shoemaker J.M. Tank Tests of Flat and Vee-Bottom Planing Surfaces, NACA TN 509, November 1934.
4. Sambraus A. Planing Surface Tests at Large Froude Numbers-Airfoil Comparison, NACA TM №. 848, February 1938.
5. Locke Jr., F.W.S. Tests of a Flat Bottom Planing Surface to Determine the Inception of Planing, Navy Department, BuAer, [Research Division Report No. 1096], December 1948.
6. Korvin-Kroukovsky B.V., Savitsky D., Lehman W. Wetted Area and Center of Pressure of Planing Surfaces, Stevens Institute of Technology, Davidson Laboratory Report №. 360, August 1949.
7. Murray A.B. The Hydrodynamics of Planing Hulls, [Meeting of the New England Section of SNAME, February 1950], 1950.
8. Savitsky D., Neiclinger J.W. Wetted Area and Center of Pressure of Planing Surfaces at Very Low Speed Coefficients, Stevens Institute of Technology, [Davidson Laboratory Report №. 498], July 1954.
9. Clement E.P. A configuration for a stepped planning boat having minimum drag (dynaplane boat). Monograph. Second edition. 2005 (published by author), 76p.
10. Sedov L.I. Ploskie zadachi gidrodinamiki i ajerodinamiki. Izd. 2, isp. – M.: Izd-vo «Nauka», 1966. 448 s.
11. Egorov I.T., Sokolov V.T. Gidrodinamika bystrohodnyh sudov. – L.: Sudostroenie, 1971. 424 s.
12. Theoretical Manual ISIS-CFD v7.1 Equipe Modélisation Numérique, Laboratoire de Mécanique des Fluides, CNRS-UMR 6598, Ecole Centrale de Nantes, B.P. 92101, 44321 Nantes Cedex 3, France.
13. User Manual FINE™/Marine v7.1, Documentation v7.1a NUMECA International, 187-189, Chaussee de la Hulpe 1170 Brussels, Belgium.
14. Garo R., Imas L. Hydrodynamic Performance of a Submerged Lifting Surface Operating at High Speed, [4th High Performance Yacht Design Conference], 2012.
15. Wackers J., Ait Said K., Deng Gan Bo, Queutey P., Visonneau M., Mizine I. Adaptive Grid Refinement Applied to RANS Ship Flow Computation, [28th Symposium on Naval Hydrodynamics], 2010.
16. Roux Y., Wackers J., Dorez L. Slamming computation on the multihull Groupama 3, [The second international conference on innovation in high performance sailing yachts, 30 June - 1 July 2010 «Innovsail 2010»], 2010.
17. Wackers J., Ait Said K., Deng GB, Queutey P., Visonneau M., Mizine I. Adaptive grid refinement applied to RANS ship flow computation. In: [28th Symposium on naval hydrodynamics]. Pasadena, California; 2010.
18. Vaganov A.M. Proektirovanie skorostnyh sudov. – L.: Izd-vo «Sudostroenie», 1978 - 280s
19. Danjaev A. Gidrodinamika i «rjushchki» // «Katera i jahty», 2 (224), 2010, S. 44-49.
20. Cheban E.Yu., Study of the effect of a speed boat hull design on water resistance by numerical methods / Cheban E.Yu., Nikuschenko D.V. // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – 2017. – № 48-49. – С. 59-69. – EDN ZULPNP.
21. A study of the "rib" boat's hull form effect on the hydrodynamic characteristics by numerical methods / Cheban Yegor Y., Martemianova Olga V., Gachev Sergey V., Mukhina Alina A. // Bulletin of VSAWT. – 2019. – № 59. – С. 79-90. – EDN CQMOIC.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

#### **Чебан Егор Юрьевич**

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», 603905,

#### **Egor Yu. Cheban**

Doctor of Technical Sciences, Professor, professor of Department of Hydrodynamics, Ship Theory and Environment Safety of Ships Volga State University of Water Transport, 603905, Nizhny Novgorod, Nesterova 5, e-mail:

Нижний Новгород, Нестерова 5, e-mail:  
egor.cheban.2@gmail.com

egor.cheban.2@gmail.com

**Мартемьянова Ольга Вадимовна**  
аспирант кафедры гидродинамики, теории  
корабля и экологической безопасности  
судов, ФГБОУ ВО «Волжский  
государственный университет водного  
транспорта», 603951, г. Нижний Новгород,  
ул. Нестерова, 5, e-mail: dovnn@yandex.ru

**Olga V. Martmianova**  
postgraduate student of Hydrodynamics, ship  
theory and ship's ecological safety department,  
Volga State University of Water Transport  
603950, Nizhniy Novgorod, Nesterova, 5, e-  
mail: dovnn@yandex.ru

**Поляшова Марина Юрьевна**  
Магистрант ФГБОУ ВО «Волжский  
государственный университет водного  
транспорта», 603951, г. Нижний Новгород,  
ул. Нестерова, 5, e-mail: m.polyashova@list.ru

**Marina Yu. Polyashova**  
Master student, Volga State University of Water  
Transport 603950, Nizhniy Novgorod,  
Nesterova, 5, e-mail: m.polyashova@list.ru

**Мольков Александр Андреевич**  
Старший научный сотрудник, Лаборатория  
оптических методов (221), Отдел  
радиофизических методов в гидрофизике  
(220); «Федеральный исследовательский  
центр Институт прикладной физики  
Российской академии наук» 603950, г.  
Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова,  
46, molkov@ipfran.ru

**Aleksandr A. Mol'kov**  
Senior Researcher, Optical Methods Laboratory  
(221), Department of Radiophysical Methods in  
Hydrophysics (220) Federal Research Center  
Institute of Applied Physics of the Russian  
Academy of Sciences (IAP RAS) 46 Ulyanov  
Street, Nizhny Novgorod, 603950, Russia,  
molkov@ipfran.ru

Статья поступила в редакцию 15.05.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 15.05.2023; published online 20.09.2023.

## **СУДОВОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

### **SHIP POWER EQUIPMENT**

УДК 621.431

DOI: 10.37890/jwt.vi76.398

#### **Перспективы решения задач импортозамещения при комплектовании энергетической установки судов с водометными движителями**

**В.А. Жуков**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4045-4504>

**А. В. Мильрат**

*Государственный университет морского и речного флота, г. Санкт-Петербург, Россия*

**Аннотация.** Одной из важнейших проблем отечественного судостроения является модернизация флота в условиях санкций недружественных стран. Для решения данной проблемы необходимо обеспечить импортозамещение ключевых элементов энергетических установок судов и кораблей. Статья посвящена обзору современного состояния проектирования и производства основных элементов энергетических установок судов и кораблей с водометными движителями. Описаны конструкции основных типов водометных движителей, применяемых в энергетических установках, показаны их преимущества. Сформулированы требования, предъявляемые к приводным двигателям водометов при использовании их в составе судовых энергетических установок. На основании анализа источников научно-технической информации, касающихся области исследования, показана перспективность использования водометных движителей при создании скоростных судов и кораблей, эксплуатирующихся в условиях мелководья (низовья Волги, внутренние водные пути, прибрежные акватории Каспийского моря и т.д.). Приведены технические характеристики основных элементов энергетических установок (водометов и двигателей), выпускаемых отечественными предприятиями. На основании проведенного обзора продукции отечественных предприятий сделан вывод о возможности решения задачи импортозамещения при комплектовании энергетических установок судов и кораблей с водометными движителями. Показана необходимость продолжения научных исследований и опытно-конструкторских разработок, направленных на модернизацию систем двигателей, используемых для привода водометов и поиск альтернативных конструкций приводных двигателей. Особое внимание следует уделить возможности комплектования энергетических установок с водометами звездообразными двигателями отечественного производства.

**Ключевые слова:** импортозамещение, энергетические установки, комплектование, скоростные суда, водометные движители, высокооборотные дизели, модернизация систем, звездообразные двигатели

#### **Prospects for solving import substitution problems when completing the power plant of ships with water jet propellers**

**Vladimir A. Zhukov**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4045-4504>

**Artur V. Milrat**

*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russia*

**Abstract.** One of the most important problems of domestic shipbuilding is the modernization of the fleet under the sanctions of unfriendly countries. To solve this problem, it is necessary to ensure import substitution of key elements of power plants of vessels and ships. The article is devoted to the review of the current state of design and production of the main elements of power plants of vessels and ships with water jet propulsion. The designs of the main types of water jet propellers used in power plants are described, their advantages are shown. The requirements for the drive engines of water cannons when using them as part of marine power plants are formulated. Based on the analysis of sources of scientific and technical information related to the field of research, the prospects of using water jet propulsion in the creation of high-speed vessels and ships operating in shallow water (lower Volga, inland waterways, coastal waters of the Caspian Sea, etc.) are shown. The technical characteristics of the main elements of power plants (water cannons and engines) produced by domestic enterprises are given. Based on the conducted review of the products of domestic enterprises, a conclusion is made about the possibility of solving the problem of import substitution when completing power plants of vessels and ships with water jet propulsion. The necessity of continuing scientific research and development aimed at upgrading the engine systems used to drive water cannons and the search for alternative designs of drive engines is shown. Particular attention should be paid to the possibility of completing power plants with water cannons with star-shaped engines of domestic production.

**Keywords:** import substitution, power plants, manning, high-speed vessels, jet propulsion, high-speed diesels, modernization of systems, star-shaped engines

### **Введение**

Комплектование энергетических установок судов и кораблей является ответственным этапом их проектирования. Традиционно комплектованию предшествует выбор типа движителя, определение требуемой мощности главного двигателя, выбор его типа и марки, определение типа и состава главной передачи. Определяющее влияние на выбор типа движителя оказывает назначение судна или корабля и особенности акваторий планируемой эксплуатации. Принципы комплексного подхода к проектированию, как ному из этапов жизненного цикла изделий описаны в работе [1].

На территории России имеется большое количество водоемов со сложными условиями для эксплуатации судов. Особенности условий эксплуатации необходимо учитывать при проектировании морских и речных судов различного назначения. Основным требованием, предъявляемым к ряду судов, является высокая скорость и маневренность. К таким судам относятся патрульные катера водной полиции, катера рыбнадзора и другие. Приграничные территории России нуждаются в охране и патрулировании водных пространств скоростными высокоманевренными катерами. Все эти задачи необходимо выполнять на водоемах, где преобладают мели, перекаты, пороги, засоренный фарватер.

Требованиям, которые обуславливаются описанными условиями эксплуатации, наиболее полно отвечают водометные движители. Использование водометов на морских и речных судах и кораблях береговой охраны позволяет иметь высокую маневренность и подходить вплотную к берегу, не опасаясь повредить винт, гребной вал и рулевой механизм. Водометные катера чрезвычайно устойчивы при маневрах на высоких скоростях [2]. Опыт использования водометных движителей в судостроении проанализирован в работе [3]. Перспективность применения водометных движителей в современном судо- и кораблестроении подтверждается работой [4].

Для обеспечения надежной и эффективной эксплуатации судов требуется рациональное комплектование энергетической установки элементами, наиболее полно отвечающими эксплуатационным требованиям, и условиям совместной работы.

Комплектование энергетической установки судна с учетом особенностей его конструкции и назначения рассмотрено в работе [5].

В случае комплектования энергетической установки судна с водометным движителем необходимо решить три связанных задачи:

- выбор типа водометного движителя;
- выбор главного двигателя;
- выбор системы управления водометным движителем.

При решении указанных задач необходимо учитывать накопленный опыт строительства и эксплуатации судов с аналогичными энергетическими установками и стремиться максимально решать проблему импортозамещения, ориентируясь на отечественных производителей оборудования.

### Методы и материалы

При выборе типа водометного движителя целесообразно рассмотреть три основных типа движителей, представленных на рисунках 1-3, описанных в работе [6].

Общими элементами водометных движителей всех типов являются рабочие колеса со спрямляющими аппаратами, рабочие сопла и сопла реверса.

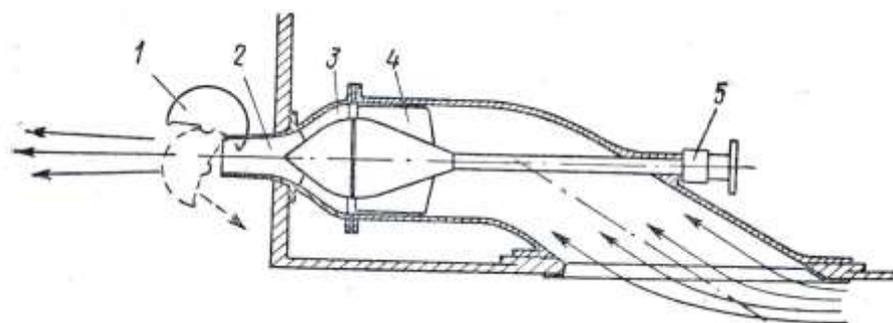


Рис. 1. Одноступенчатый осевой водометный движитель:

1 – сопло реверса, 2 – сопло, 3 – спрямляющий аппарат, 4 – рабочее колесо, 5 – приводной вал.

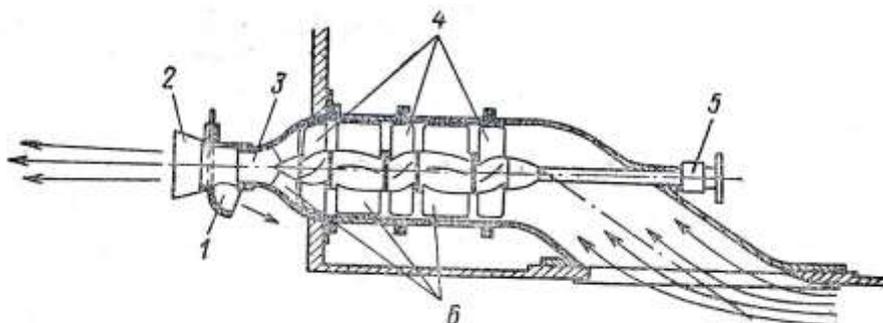


Рис. 2. Трехступенчатый осевой водометный движитель:

1 – сопло реверса, 2 – заслонка управления, 3 – сопло, 4 – три рабочих колеса, 6 – спрямляющие аппараты, 5 – приводной вал.

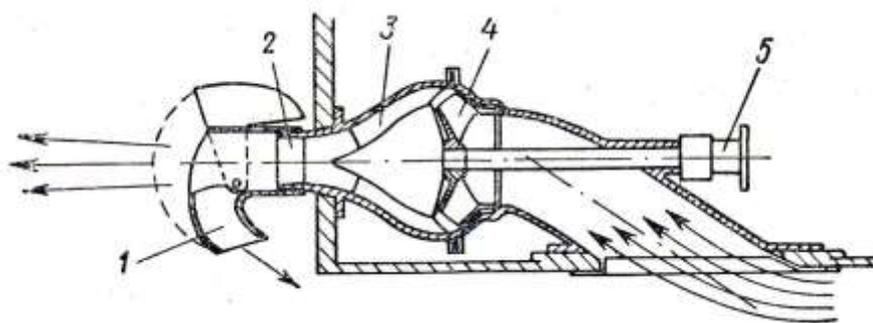


Рис. 3. Диагональный водометный движитель:  
1 – сопло реверса, 2 – сопло, 3 – спрямляющий аппарат,  
4 – рабочее колесо, 5 – приводной вал.

Увеличение количества рабочих колес водометов в трехступенчатых конструкциях обусловлено требованиями повышения мощности при увеличении водоизмещения судов. Использование нескольких последовательно расположенных насосных камер, включающих спрямляющие аппараты, снижает вероятность возникновения кавитационных процессов в проточной части водомета.

В диагональных водометных движителях наружные диаметры импеллера, спрямляющего аппарата и их ступиц изменяются по длине, при этом движение воды в пределах импеллера осуществляется под наклоном линий тока от оси к периферии, в спрямляющем аппарате — с наклоном от периферии к оси. Усложнение конструкции направлено на улучшение гидродинамических параметров водомета.

Существуют также оседиагональные водометные движители, которые имеют постоянный наружный диаметр импеллера и переменный по длине диаметр ступицы, а спрямляющий аппарат может иметь либо осевую, либо диагональную конструкцию.

В настоящее время в РФ на ряде предприятий освоено серийное производство водометных движителей. К ведущим отечественным производителям водометных движителей относятся НПО «Винт», Акционерное общество "Костромской судомеханический завод" и Акционерное общество "Центр судоремонта "Звездочка".

НПО «Винт» выпускает водометные движители мощностью от 35 до 300 кВт для судов и катеров различного назначения (рис. 4). В настоящее время наиболее востребованными являются следующие модели водометных движителей: ВД25/250, ВД31, ВД33, технические характеристики которых представлены в табл. 1 [7].

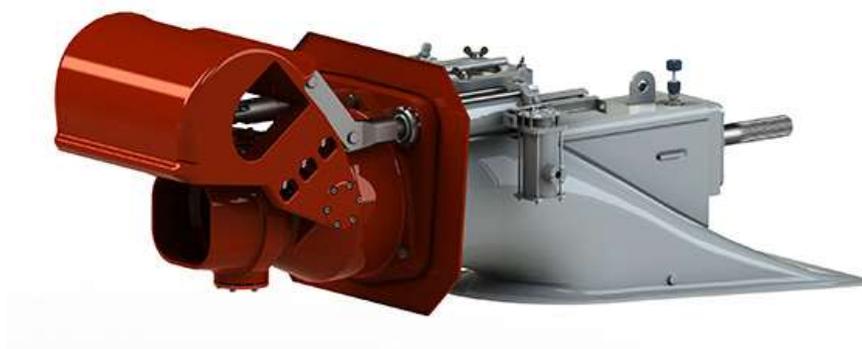


Рис. 4. Водометный движитель НПО «Винт»

Таблица 1

**Водометные движители НПО «Винт»**

Модель	Мощность, кВт	Диаметр рабочего колеса, мм	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>
ВД30/225	225	300	3840
ВД25/250	190	250	3500
ВД33	150...300	420	1500-2200
ВД31	114	420	2200

АО "Костромской судомеханический завод" выпускает водометные движители моделей ВД-01, ВД-03, ВД-110, ВД-950. Водометный движитель модели ВД-110 представлен на рис. 5, а основные технические характеристики выпускаемых моделей в таблице 2 [8].

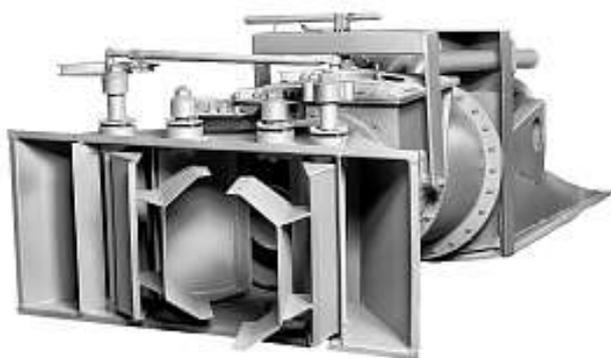


Рис. 5. Водометный движитель ВД-110

Таблица 2

**Водометные движители АО "Костромской судомеханический завод"**

Модель	Мощность, кВт	Диаметр рабочего колеса, мм	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Масса, кг	Водоизмещение судна, т
ВД-01	140...200	230	4300	100	1,5...3,5
ВД-03	295...370	268	3500	190	3,5...5,5
ВД-110	185...310	392	2100	325	8,0...20,0
ВД-950	185...310	392	2100	310	7,0...20,0

Продукцией АО "Центр судоремонта "Звездочка" является водометный движитель ВД-21630М-01, технические характеристики которого представлены в таблице 3 [9].

Таблица 3

**Водометный движитель АО "Центр судоремонта "Звездочка"**

Модель	Мощность, кВт	Диаметр рабочего колеса, мм	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Масса, кг	Водоизмещение судна, т
ВД-21630М-01	7355 кВт	1400	550	8500	400...500

Два водомета данной модели используются в качестве движителей на малых артиллерийских кораблях проекта 21630 «Буян». Проект был разработан предприятием (ФГУП) «Зеленодольское ПКБ» под руководством главного

конструктора Я. Е. Кушнера с учётом особенностей Каспийского моря и дельты Волги. Особенности водометных движителей обеспечивают возможность прохода корабля на незначительных глубинах и максимальную скорость 26 узлов.

В дополнение к серийно выпускаемым водометам в Российской Федерации активно ведется разработка новых моделей водометных движителей. По заказу Минпромторга РФ проведена опытно-конструкторская работа «Разработка технологии создания типоряда водометных движителей мощностью до 1,5 МВт в обеспечение серийного строительства скоростных судов и судов повышенной мореходности». По данным источников [10, 11] с целью замены продукции зарубежных фирм, таких как HamiltonJet (Новая Зеландия), Wartsila (Финляндия), Rolls-Royce (Великобритания) в России создан типоразмерный ряд водометных движителей диагонального типа мощностью от 115 кВт до 1500 кВт, включающий модели:

- ВД177Д – мощность до 115 кВт,
- ВД230Д – мощность до 330 кВт,
- ВД280Д – мощность до 500 кВт,
- ВД370Д – мощность до 950 кВт,
- ВД490Д – мощность до 1500 кВт

К настоящему времени разработаны и изготовлены опытные образцы трех типоразмеров водометных движителей с диагональной лопастной системой ВД177Д, ВД280Д и ВД490Д, проведены швартовые и ходовые испытания.

Достижимые скорости движения судна с разработанными ВД:

- с ВД177Д при мощности 115 кВт – 40 узлов;
- с ВД280Д при мощности 500 кВт – 50 узлов;
- с ВД490Д при мощности 1500 кВт – 51 узел.

Проведением опытно-конструкторских работ и изготовлением опытных образцов занималась московская компания «ДМ Технолоджи» (рис. 6).



Рис. 6. Водомет производства «ДМ Технолоджи»

Источник:

«ДМ Технолоджи» [http://shipbuilding.ru/rus/news/russian/2018/12/30/boat\\_water-jet\\_propeller/](http://shipbuilding.ru/rus/news/russian/2018/12/30/boat_water-jet_propeller/)

Пропульсивный КПД разработанных моделей достигает значений более 0,67 при высокой кавитационной стойкости. Эти качества определяют высокую мореходность скоростных судов, оснащенных указанными пропульсивными комплексами, при волнении до 3-4 баллов на скорости хода до 35 узлов.

Технические характеристики водометных движителей, прежде всего мощность и частота вращения, являются основой для выбора главного двигателя при

комплектовании судовой или корабельной энергетической установки. Для привода большинства моделей водометов требуются двигатели с частотой вращения коленчатого вала от 2000 до 4500 мин<sup>-1</sup>. Указанный диапазон частот вращения характерен для высокооборотных дизелей и бензиновых двигателей.

Анализ данных по имеющимся судам и кораблям с водометными движителями позволяет установить, что на многих проектах установлены двигатели зарубежного производства: MAN (Германия), Caterpillar (США), MTU (Германия), HND (Китай). В рамках решения проблемы импортозамещения необходимо осуществлять комплектование энергетических установок судов и кораблей отечественными двигателями. Обзор российских производителей поршневых ДВС проведен в работе [12]. Сведения о технических характеристиках перспективных отечественных высокооборотных дизелей (ВОД) приведены в таблице 4.

Таблица 4

**Перспективные российские ВОД**

Двигатели малой мощности				
Агрегатная мощность, кВт	10 – 50	30 – 180	100 – 250	
Производитель	Дагдизель	Тверьдизельагрегат	ЯМЗ	
Размерность, см	8,5/11 9,5/11	11/12,5	10,5/12,8	
Число цилиндров	2, 4	2, 4, 6	4, 6	
Цилиндровая мощность, кВт	5 – 25	15 – 60	25 – 45	
Среднее эффективное давление, МПа	0,8 – 1,2	1,2 – 1,5	1,2 – 1,6	
Частота вращения коленчатого вала, мин <sup>-1</sup>	1500 – 2400			
Двигатели средней мощности				
Агрегатная мощность, кВт	250 – 600		500 – 1500	
Производитель	ТМЗ	ЯМЗ	УДМЗ	Звезда
Размерность, см	14/14	14/14	21/21	18/20
Число цилиндров	8	12	6, 8, 12	6, 12
Цилиндровая мощность, кВт	40 – 70		80 – 125	
Среднее эффективное давление, МПа	2,2 – 2,6		1,6 – 2,0	
Частота вращения коленчатого вала, мин <sup>-1</sup>	1500 – 2100		1200 – 1600	
Двигатели большой мощности				
Агрегатная мощность, кВт	1500 – 4500			
Производитель	УДМЗ		Звезда	
Размерность, см	18,5/21,5		16/17	
Число цилиндров	12, 16, 20		42, 56	
Цилиндровая мощность, кВт	140 – 240		70 – 90	
Среднее эффективное давление, МПа	2,0 – 2,2		1,4 – 1,6	
Частота вращения коленчатого вала, мин <sup>-1</sup>	1500 – 1900		1750 – 2000	

В энергетических установках судов и кораблей с водометными движителями могут также использоваться модификации дизельного двигателя ЗМЗ-514 производства Заволжского моторного завода. Двигатели имеют агрегатную мощность

от 80 до 115 кВт при частоте вращения коленчатого вала 3500 мин<sup>-1</sup>, что соответствует характеристикам определенных типов водометов. Недостатком данного двигателя является использование в его конструкции критически важных импортных комплектующих, прежде топливной аппаратуры.

### **Результаты**

Проведенный обзор отечественных производителей водометных движителей и поршневых двигателей внутреннего сгорания позволяет сделать заключение о возможности комплектования энергетических установок скоростных судов и кораблей изделиями российских предприятий. Необходимо отметить при этом, что российские водометы по техническим и массо-габаритным характеристикам практически не уступают зарубежным аналогам, тогда как отечественные высокооборотные двигатели уступают зарубежным по степени форсированности, удельной мощности, экономичности.

### **Обсуждение**

В связи с тем, что потребность в скоростных, высокоманевренных судах и кораблях с хорошими мореходными качествами сохраняется на высоком уровне, потребность в комплектующих их энергетических установок продолжает расти. Это обуславливает необходимость продолжения внедрения отечественных разработок в производство. Особое внимание необходимо уделять совершенствованию дизельных двигателей, используемых для привода водометов. Поскольку большинство двигателей, за исключением двигателя М507 производства АО «Звезда», являются конвертированными автотракторными, специальных доработок требуют системы смазки, охлаждения, впуска.

В качестве альтернативы рядным и V-образным двигателям на судах с водометными движителями можно рассматривать газотурбинные двигатели, а также малоразмерные звездообразные двигатели, предлагаемые д.т.н., профессором Матвеевым Ю.И. [13, 14].

Модернизация двигателей и применение новых конструкций должны быть экономически оправданными и обеспечивать повышение энергоэффективности и надежности судовых энергетических установок.

### **Заключение**

Анализ собранной научно-технической информации позволяет сделать следующие выводы:

- суда и корабли, оснащенные водометными движителями, обладают рядом достоинств, которые обуславливают их применение в гражданском и военном флоте;
- к двигателям, используемым для привода водометов, предъявляются особые требования по частоте вращения и компактности;
- в настоящее время в Российской Федерации имеются серийные образцы и опытно-конструкторские разработки комплектующих энергетических установок судов с водометными движителями, а также предприятия способные обеспечить их производство с целью решения задачи импортозамещения;
- необходимо продолжение научных исследований, направленных на повышение экономичности и надежности главных двигателей судов с водометными движителями за счет совершенствования систем двигателей и поиска альтернативных конструкций.

**Список литературы:**

1. Никитин, В. С. Научно-техническое сопровождение создания кораблей и судов / В. С. Никитин // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2018. – № 1(383). – С. 5-12.
2. Мавлюдов М.А. Русецкий А.А. Двигатели быстроходных судов. – Л.: Судостроение. – 1982. – 280 с.
3. Жуков, В. А. Водометные двигатели в судовой энергетике: история и перспективы / В. А. Жуков, А. В. Мильрат // Транспортное дело России. – 2022. – № 6. – С. 34-38.
4. Анчиков С.Л. Водометные двигатели. Вопросы проектирования – СПб.: Реноме. – 2021. – 251 с.
5. Сахновский, Б. М. Прогнозирование мощности главных двигателей при проектном обосновании характеристик скоростных судов / Б. М. Сахновский // Судостроение. – 2006. – № 5(768). – С. 23-27.
6. Хорхордин Е.Г. Стационарные водометы. Справочник. М.: Издательский дом Рученькиных. – 2004. – 160 с.
7. Продукция НПО «Винт» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vintpro.ru>. Дата обращения 04.05.2023.
8. Акционерное общество "Костромской судомеханический завод" [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ecs-sko.ru/catalog/factory/194/> Дата обращения 04.05.2023.
9. Центр судоремонта «Звездочка». Производство пропульсивных комплексов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.star.ru/Deyatelnost/Proizvodstvo-propulsivnih-kompleksov>. Дата обращения 05.05.2023.
10. Современные отечественные водометные двигатели // Морская наука и техника 2022 № 2, С. 60-65 / <https://marine.org.ru/morinform/11042/>
11. Для «малого флота» силовиков создадут водометы трех типоразмеров [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://shipbuilding.ru/rus/news/russian/2018/12/30/boat\\_water-jet\\_propeller/](http://shipbuilding.ru/rus/news/russian/2018/12/30/boat_water-jet_propeller/). Дата обращения 30.04.2023.
12. Безюков, О. К. Состояние и перспективы судовой двигательной техники в России / О. К. Безюков, В. А. Жуков // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2017. – № 2. – С. 40-53.
13. Пешков В. Г., Василев Н. В., Торопов М. Н., Матвеев Ю. И. Перспективное направление оптимизации импортозамещения судовых дизелей // Москва, Речной транспорт (XXI век). 2022. № 3 (103). С.58-60.
14. Матвеев, Ю. И. Пропульсивный комплекс на основе звездообразного дизеля с вертикальной осью вращения коленчатого вала / Ю. И. Матвеев, М. Н. Новосельцев // Морские технологии: проблемы и решения - 2023 : Сборник трудов по материалам научно-практических конференций преподавателей, аспирантов и сотрудников ФГБОУ ВО "КГМТУ", Керчь, 24–28 апреля 2023 года. – Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2023. – С. 107-110.

**References**

1. Nikitin, V. S. Nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdeniesozdaniya korablej i sudov / V. S. Nikitin // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra. – 2018. – № 1(383). – S. 5-12.
2. Mavlyudov M.A. Ruseckij A.A. Dvizhiteli bystrokhodnykh sudov. – L.: Sudostroenie. – 1982. – 280 s.
3. Zhukov, V. A. Vodometnye dvizhiteli v sudovoj ehnergetike: istoriya i perspektivy / V. A. Zhukov, A. V. Mil'rat // Transportnoe delo Rossii. – 2022. – № 6. – S. 34-38.
4. Anchikov S.L. Vodometnye dvizhiteli. Voprosy proektirovaniya – SPb.: Renome. – 2021. – 251 s.
5. Sakhnovskij, B. M. Prognozirovaniye moshchnosti glavnykh dvigatelej pri proektnom obosnovanii kharakteristik skorostnykh sudov / B. M. Sakhnovskij // Sudostroenie. – 2006. – № 5(768). – S. 23-27.

6. Khorkhordin E.G. Stacionarnye vodometry. Spravochnik. M.: Izdatel'skij dom Ruchen'kinykh. – 2004. –160 s.
7. Produkcija NPO «VinT» [Ehlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://vintpo.ru>. Data obrashcheniya 04.05.2023.
8. Akcionernoe obshchestvo "Kostromskoj sudomekhanicheskij zavod" [Ehlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://ecs-sko.ru/catalog/factory/194/> Data obrashcheniya 04.05.2023.
9. Centr sudoremonta «Zvezdochka». Proizvodstvo propul'sivnykh kompleksov [Ehlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.star.ru/Deyatelnost/Proizvodstvo-propulsivnih-kompleksov>. Data obrashcheniya 05.05.2023.
10. Sovremennye otechestvennye vodomyotnye dvizhiteli // Morskaya nauka i tekhnika 2022 № 2, S. 60-65 / <https://marine.org.ru/morinform/11042/>
11. Dlya «malogo flota» silovikov sozdadut vodometry trekh tiporazмеров [Ehlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: [http://shipbuilding.ru/rus/news/russian/2018/12/30/boat\\_water-jet\\_propeller/](http://shipbuilding.ru/rus/news/russian/2018/12/30/boat_water-jet_propeller/).Data obrashcheniya 30.04.2023.
12. Bezyukov, O. K. Sostoyanie i perspektivy sudovogo dvigatelestroeniya v Rossii / O. K. Bezyukov, V. A. Zhukov // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. – 2017. – № 2. – S. 40-53.
13. Peshkov V. G., Vasilev N. V., Toropov M. N., Matveev YU. I. Perspektivnoe napravlenie optimizatsii importozameshcheniya sudovykh dizelei // Moskva, Rechnoi transport (XXI vek). 2022. № 3 (103). S.58-60.
14. Matveev, YU. I. Propul'sivnyi kompleks na osnove zvezdoobraznogo dizelya s vertikal'noi os'yu vrashcheniya kolenchatogo vala / YU. I. Matveev, M. N. Novosel'tsev // Morskie tekhnologii: problemy i resheniya - 2023 : Sbornik trudov po materialam nauchno-prakticheskikh konferentsii prepodavatelei, aspirantov i sotrudnikov FGBOU VO "KGMТУ", Kerch', 24–28 aprelya 2023 goda. – Kerch': FGBOU VO «Kerchenskii gosudarstvennyi morskoi tekhnologicheskii universiteT», 2023. – S. 107-110.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Жуков Владимир Анатольевич**, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой судостроения и энергетических установок (ФГБОУ ВО ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова), 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: [zhukov\\_vla@mail.ru](mailto:zhukov_vla@mail.ru)

**Мильрат Артур Вячеславович**, аспирант кафедры судостроения и энергетических установок (ФГБОУ ВО ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова), 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: [kaf\\_sdvs@gumrf.ru](mailto:kaf_sdvs@gumrf.ru)

**Vladimir A. Zyukov**, doctor of technical sciences, Head of the Department of shipbuilding and power plants, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 198035, St. Petersburg, Dvinskaya st., 5/7, e-mail: [zhukov\\_vla@mail.ru](mailto:zhukov_vla@mail.ru)

**Artur V. Milrat**, postgraduate of the Department of shipbuilding and power plants, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 198035, St. Petersburg, Dvinskaya st., 5/7, e-mail: [kaf\\_sdvs@gumrf.ru](mailto:kaf_sdvs@gumrf.ru)

Статья поступила в редакцию 13.05.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 13.05.2023; published online 20.09.2023.

УДК 621.5.

DOI: 10.37890/jwt.vi76.400

## **Повышение работоспособности деталей цилиндропоршневой группы судовых дизелей**

**Ю.И. Матвеев**

**М.Ю. Храмов**

**В.В. Колыванов**

**С.Ю. Курицын**

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

**Аннотация.** Для установленного отремонтированного двигателя на судно, с целью обеспечения его нормальной работы, необходимо провести обкатку. Данная операция заключается в приработке трущихся поверхностей для обеспечения необходимой шероховатости поверхностей, формы поверхностей, увеличение площади контакта сопрягаемых поверхностей. Результатом правильной обкатки считается эффективная работа двигателя, при которой стабильны все параметры двигателя, такие как температура охлаждающей жидкости, температура выхлопных газов, расход топлива, расход масла. За все перечисленные параметры двигателя в большинстве случаев отвечают детали цилиндропоршневой группы (ЦПГ) в особенности поршневые кольца, которые работают в максимально экстремальных условиях. Новые поршневые кольца, с идеальной формой вставленные в поршневую канавку поршня не могут обеспечить плотного прилегания к поверхности цилиндра во время движения, в связи с этим в отдельных местах появляются просветы, нарушающие герметичность камеры сгорания. Устранение данных просветов является одной из главных задач приработки сопрягаемых поверхностей. Основными факторами, влияющими на продолжительность обкатки - это макрогеометрия поршневых колец, профили рабочей поверхности поршневого кольца и цилиндра, шероховатость поверхностей, режимы обкатки, смазка и приработочные покрытия. Анализируя научные исследования в данной области и опираясь на свой опыт, был сформирован алгоритм обкаточных работ, который в последствии опробован на двигателях. Заключительная стадия исследования в данном направлении состояла на анализе положительных результатов опыта и на его основе были предложены формулы для двигателей разной оборотности.

**Ключевые слова:** поршневые кольца, износ, обкатка, приработка, камера сгорания, цилиндропоршневая группа.

## **Improving the performance of parts of the cylinder piston group of marine diesel engines**

**Yuriy I. Matveev**

**Michael Y. Khramov**

**Vladimir V. Kolyvanov**

**Sergey Y. Kuritsyn**

*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** For the repaired engine installed on the vessel, in order to ensure its normal operation, it is necessary to run-in. This operation consists in the running-in of rubbing surfaces to ensure the necessary surface roughness, surface shape, and an increase in the contact area of the mating surfaces. The result of proper running-in is considered to be the efficient operation of the engine, in which all engine parameters are stable, such as coolant temperature, exhaust gas temperature, fuel consumption, oil consumption. In most cases, the details of the cylinder piston group, especially the piston rings, which operate under the most extreme conditions, are responsible for all the listed engine parameters. New piston rings,

with an ideal shape inserted into the piston groove of the piston, cannot ensure a tight fit to the cylinder surface during movement, in this regard, gaps appear in some places that violate the tightness of the combustion chamber. Elimination of these gaps is one of the main tasks of running-in of the mating surfaces. The main factors affecting the duration of the run-in are the macrogeometry of the piston rings, the profiles of the working surface of the piston ring and cylinder, the roughness of the surfaces, the running-in modes, lubrication and maintenance coatings. Analyzing scientific research in this field and relying on their experience, an algorithm of running-in works was formed, which was subsequently tested on engines. The final stage of the research in this direction consisted of the analysis of the positive results of the experiment and on its basis formulas for engines of different turnovers were proposed.

**Keywords:** piston rings, wear, running-in, breaking-in, combustion chamber, cylinder piston group.

### **Введение**

XXI век внёс свои коррективы в развитие промышленности. Наступило время цифровых технологий, позволяющее добиться уникальных результатов. На сегодняшний день для изготовления деталей двигателя используют станки с компьютерным управлением, возможность которых позволяет обеспечить самые жёсткие допуски. Это особенно необходимо для сопряжённых деталей. К наиболее ответственным сопряжённым деталям двигателя можно отнести детали цилиндропоршневой группы в особенности поршневые кольца, изготовление которых на сегодняшний день благодаря технологическим возможностям позволяет их монтировать в новый двигатель без притирки к поверхности цилиндра за счёт прецизионной обработки на конечной стадии производства. К сожалению, для двигателей, отработавших период времени до ремонта, данные технологии применить невозможно, поскольку детали двигателя в процессе работы подвергаясь механическим и тепловым нагрузкам теряют идеальную форму. Рабочие поверхности долго и нормально работавших деталей обладают признаками, существенно отличающимися от исходных (технологических) и от свойств основного материала, из которого они выполнены. При установке новых поршневых колец, площадь фактического контакта со стенкой цилиндра будет небольшой и будет соответствовать суммарной площади контакта макровыступов шероховатости стенки цилиндра. Во время работы пары поршневые кольца-втулка цилиндра, в месте контакта происходит повышение температуры за счёт сил трения, которые приводят к пластической деформации макровыступов, тем самым меняя поверхность поршневого кольца, адаптируя её к условиям поверхности цилиндрической втулки. Период приработки сопряжённых деталей двигателя принято называть обкаткой, обеспечивающая возможность нормальной работы при разных нагрузках.

### **Методы**

Процесс перехода свойств поверхностей трения от исходных к эксплуатационным называется приработкой. Завершение приработки характеризуется комплексом факторов, проявляющихся после определенного (достаточно длительного) периода работы дизеля на режиме полной эксплуатационной мощности. Исходное состояние геометрической формы сопрягаемых поверхностей изменяется, обеспечивая максимальное прилегание, тем самым увеличивая площадь их фактического контакта, снижаются нормальные и касательные напряжения при взаимодействии этих поверхностей. Исходная шероховатость ликвидируется, и формируется новый равновесный микрорельеф поверхностей, обладающий определенными параметрами, наилучшим образом, соответствующими заданным условиям работы пары трения.

Образуемый прочный и износостойкий поверхностный слой характеризуется положительным градиентом механических свойств (увеличением прочности по глубине), особым напряженным состоянием (с преобладанием напряжений сжатия), наличием прочных адгезированных защитных пленок, способностью восстанавливать свои свойства и размеры.

Скорость изнашивания, коэффициент трения, температура рабочих поверхностей стабилизируются на низком уровне.

Формируется прочная смазочная пленка на рабочей поверхности.

Сопрягаемые поверхности приобретают ровный отблеск по всей площади, характеризующий отсутствием повреждений (рисок, микрорадиов, цветов побежалости и т. п.) либо наличием лишь следов старых «заживающих» повреждений.

Процесс приработки можно отнести к одному из самых сложных технологических процессов, который происходит под воздействием постоянно меняющихся факторов, таких как шероховатость и форма поверхности, условие смазки, напряжённое состояние, изменение структуры поверхностного слоя сопрягаемых поверхностей и прочее. Для смягчения влияния данных факторов во время приработки необходимо постепенно нагружая двигатель создать ряд обязательных условий, включающих в себя обеспечение эффективного отвода тепла и смазки сопрягаемых деталей с контролем трущихся поверхностей.

Срок обкатки, как правило, на много меньше периода полной приработки деталей, с целью максимального сохранения ресурса двигателя. Тем не менее за время обкатки должно быть обеспечено хорошее прилегание сопрягаемых поверхностей, характеризующееся большой площадью контакта, обеспечение эффективной смазки, высокий уровень износостойкости рабочей поверхности, чтобы в случае изменения условий работы двигателя (как правило чрезмерная нагрузка) оставшаяся не притёртая поверхность не была повреждена.

К признакам качественной обкатки можно отнести:

1. Полноценное прилегание друг к другу сопряжённых поверхностей, при которой возможна максимальная площадь контакта;
2. Снижение скорости изнашивания;
3. Отсутствие новых повреждений на поверхности трения;
4. Эффективное смазывание рабочей поверхности;
5. Отсутствие на рабочей поверхности следов механической обработки.

Основной процесс приработки осуществляется за счёт силы трения, возникающей при перемещении сопрягаемых деталей. В большинстве случаев сила трения носит разрушительный характер, благодаря которой происходит износ трущихся поверхностей, потеря мощности при чрезмерном её росте, не учтённое повышение температуры рабочей поверхности и прочее. Тем не менее у данной силы есть и положительная сторона. Без её влияния невозможно произвести приработку трущихся поверхностей, а, следовательно, и ввести в эксплуатацию отремонтированные двигатели. Явления, происходящие на рабочих поверхностях во время трения, исследуют учёные многих стран, и на данный момент единая теория трения не сформирована. Хочется отметить исследования в этой области И. В. Крагельского [2] и его учеников, проводимые в Советском Союзе, поскольку данная теория трения была доведена до практического использования и на её базе были разработаны расчётные методы, позволяющие получить ответы на многие вопросы. Но, к сожалению, имеющиеся исследования не дают нам чёткого понимания для создания общей модели и методики проведения обкаточных работ. Есть вопросы, на которые нет единого мнения для ответа, такие как: какая шероховатость сопрягаемых поверхностей должна быть перед началом притирочных работ, какая продолжительность по времени обкаточных работ, выполнять притирку на одном режиме или режим нагрузки необходимо менять, с какой нагрузки начинать и каков

шаг её увеличения и т.д. С уверенностью можно сказать только то, что обкатка необходима и важна для получения максимальной отдачи от двигателя в виде заявленной мощности от производителя с минимальными затратами (расход топлива и масла).

Высокая температура и давление, работа в условиях граничной смазки, а иногда и при её отсутствии, малые скорости скольжения и агрессивная среда делают поршневые кольца одними из самых нагруженных деталей цилиндропоршневой группы и всего двигателя. Перечисленные условия, сопровождающие работу поршневых колец, усугубляются при их установке вновь или после проведённого ремонта, поскольку отсутствует плотное прилегание рабочей поверхности поршневого кольца к стенке цилиндра. Отсутствие нужной формы и шероховатости при притирке приводят к повышенным температурам, вследствие чего в месте контакта может произойти схватывание поверхностей. Данное явление возникает, когда на поверхности кольца не сформирован износостойкий поверхностный слой, и может привести к тяжёлым повреждениям, которые иногда можно исправить только путём замены на новые детали.

Помимо схватывания в процессе работы ЦПГ нередко случаются и задиры [1]. Природу возникновения данных явлений, заставляет многих учёных проводить исследования в данной области. Все авторы сходятся на том, что непременным условием схватывания является металлический контакт участков поверхностей, лишенных оксидных других адгезированных защитных пленок, а высокие температуры и пластические деформации поверхностного слоя деталей способствуют этому. При схватывании резко усиливается изнашивание, на стальных и чугунных поверхностях трения появляются так называемые «белые слои», обладающие высокой твердостью и хрупкостью. Легко выкрашиваясь и попадая в зону трения, «белые слои» вызывают усиленное абразивное изнашивание, которое в свою очередь создает условия для схватывания и образования новых «белых слоев». Такой процесс часто носит лавинообразный характер и приводит к полному выходу из строя деталей трения. Исследования «белых слоев» [3,4,5,6] показали, что их структура зависит от условий образования, а толщина может достигать 60 мкм. Многие исследователи [4,7,8] считают, что форсированный режим обкатки может служить причиной появления «белых слоев». Большое влияние на приработку оказывают такие факторы, как макро и микрогеометрия поверхностей трения, поскольку от них в значительной степени зависит площадь фактического контакта и характер деформации поверхностного слоя, а также количество, качество и распределение смазочного материала на поверхности.

**Макрогеометрия поршневых колец.** Новые поршневые кольца не могут плотно прилегать всей своей рабочей поверхностью к стенке цилиндра. Из-за неодинаковой жесткости в разных поперечных сечениях поршневое кольцо, вставленное в круглый цилиндр, изгибается неравномерно, и в отдельных местах между кольцом и стенкой цилиндра появляются просветы. Наличие просветов неизбежно в новой паре кольцо — втулка. Значения просветов  $H$ , мм, регламентированы РТМ 31.5028–77 в зависимости от диаметра цилиндра  $D$  и определяется выражением  $H = 0,01 + 0,00008D$ .

Через эти просветы могут прорываться горячие газы из камеры сгорания, перегревая поверхности трения и сдувая с них масляную пленку. Специалисты фирмы «Зульцер» установили, что прорывы газов достигают значительных величин при ширине просвета свыше 20 мкм и практически исчезают при ширине просвета менее 10 мкм. Из вышеизложенного следует, что без приработочного износа обойтись нельзя, а значение необходимого приработочного износа во многом зависит от диаметра цилиндра, точности изготовления и монтажа деталей ЦПГ.

**Профили поршневых колец.** Самым распространённым профилем поршневого кольца является прямоугольник. В процессе притирки к поверхности цилиндра, кольца приобретают бочкообразный профиль, положительно влияющий на

распределение смазки по поверхности цилиндра. Это особенно необходимо для верхнего поршневого кольца, которое работает в условиях граничной смазки, что особенно критично при малых скоростях поршня в районе верхней мёртвой точки. Бочкообразный профиль – это результат конечной стадии притирки. Многие производители колец стараются придать бочкообразную форму новому кольцу, для сокращения сроков приработки, но это не всегда рационально, поскольку, сглаживая кромки во время притирки, поршневое кольцо приобретает форму цилиндра, тем самым обеспечивая герметичность камеры сгорания. К сожалению, при большом износе поверхности цилиндра или его деформации, герметичность камеры сгорания, за счёт притирки колец не всегда получается достигнуть. Например, согласно статистике, для двигателя ДКРН 74/160, компенсацию износа цилиндровой втулки притиркой поршневых колец, можно обеспечить не более 3,5-4мм на диаметр, при большой компенсации происходит разрушение поршневых колец.

**Шероховатость сопрягаемых поверхностей.** Шероховатость поверхности характеризуется двумя формами – микровыступами при помощи которых происходит контакт с сопрягаемым телом и впадинами, которые при работе могут копить смазку и соответственно смазывают поверхность трения в случае необходимости. В процессе работы на рабочей поверхности появляются царапины, которые могут служить в качестве проводника масла, тем самым играя положительную роль в процессе смазывания. При возникновении металлического контакта между трущимися поверхностями, выделяющееся тепло отводится двумя способами. Первый способ зависит от свойств материала деталей, а точнее от теплопроводности, при котором тепло распространяется в глубь тела с последующей передачей менее нагретому телу. При втором способе передача тепла осуществляется при помощи излучения в окружающую среду. При излучении шероховатость играет важную роль, поскольку данный способ передачи тепла напрямую зависит от площади и излучательной способности поверхности. Чем грубее шероховатость, тем больше коэффициент черноты излучения, т. е. больше тепла излучает поверхность трения в окружающую среду.

Многочисленными исследованиями определено, что шероховатость поверхностей трения, получающаяся в результате приработки, не зависит от исходной технологической шероховатости. Какой бы ни была исходная шероховатость (грубой или очень гладкой), после приработки устанавливается вполне определенный микрорельеф, зависящий только от условий трения, который называют равновесным. Пока сохраняются условия трения, не утрачивается и соответствующий микрорельеф поверхностей. Если поверхности слишком грубые, их взаимодействие сопровождается значительными пластическими деформациями микронеровностей и может привести к схватыванию и задирам. Однако практика показывает, что чрезмерно гладкие поверхности также не могут воспринимать рабочие нагрузки без повреждений. Для объяснения этого явления И. В. Крагельским и его учениками предложена гипотеза «пленочного голодания» [2], согласно которой чем глаже поверхности, а, следовательно, больше размеры пятен фактического контакта, тем медленнее образуются на них защитные пленки и тем быстрее они изнашиваются.

**Смазка.** Функции смазочного материала сложны и разнообразны. Масло разделяет поверхности трения, охлаждает их, очищает от продуктов изнашивания, защищает от окружающей среды, участвует в образовании защитных пленок на поверхности трения и т. д.

Первые исследования, посвященные влиянию свойств масла на приработку, касались подбора вязкости масла [9,10]. Исследования обкатки автотракторных дизелей, выполненные Н.П.Воиновым, показали, что для приработки рационально использовать маловязкие масла. Такие масла легко распределяются по поверхностям трения, обладают хорошей охлаждающей способностью, что важно для обкатки. Можно, однако, привести и противоположные рекомендации, изложенные в работах

[11]. Есть мнение о наиболее существенном влиянии вязкости масла лишь при гидродинамической смазке. Для граничной смазки, как указывает Л. А. Старосельский, вязкость масла вообще не играет никакой роли. При этом на прочность адгезированной пленки масла влияют лишь свойства поверхностей и самого масла, характеризующиеся его маслянистостью. Однако опыты с экспериментальным высоковязким маслом М20-Е60 с вязкостью около  $20 \text{ мм}^2/\text{с}$  ( $20 \text{ сСт}$ ) при  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  и композицией присадок, аналогичной маслу М16-Е60, которые были проведены на дизеле 9ДКРН 80/160, показали, что повышение вязкости масла увеличивает надежность работы ЦПГ [12]. При сравнении дизелей, работавших на масле М16-Е60 (дизели работали на топливах газотурбинном, ДТ и ДМ с содержанием серы 1–2%) и на масле М20-Е60, у последних износ поршневых колец оказался на 33%, а нагарообразование на поршнях в 1,5 раза меньше. Данные, свидетельствующие о предпочтительности более вязких масел для тяжелых условий трения (а именно такие условия имеют место во время приработки), можно встретить и у других авторов. Для крупных дизелей, где просветы между кольцами и стенкой цилиндра могут достигать значительной ширины (до 0,1 мм) даже на качественно изготовленных ЦПГ, масла с повышенной вязкостью имеют еще и другое важное преимущество – обеспечивают лучшее уплотнение колец по сравнению с маловязкими маслами. Поэтому авторы являются сторонниками применения вязких масел при обкатке. Очень важным фактором, влияющим на прочность масляной пленки, является температура поверхностей трения [13,14]. Для каждого сочетания материала поверхности и сорта масла существует своя критическая температура, при достижении которой масляная пленка теряет свою несущую способность. Поверхностная температура детали складывается из следующих температур: объемной, зависящей от условий работы детали в дизеле, и трения (так называемой температурной вспышки) в пятнах фактического контакта поверхностей трения, зависящей от условий трения. Отсюда ясно, что обеспечить условия работоспособности масла, т. е. такую среду, при которой поверхностная температура была бы ниже критической при данных условиях трения, возможно тремя путями: уменьшить объемную температуру тела, уменьшить температуру трения, использовать масло, имеющее более высокую критическую температуру. Первый путь предусматривает создание эффективного охлаждения деталей, второй – применение пониженных нагрузок, особенно на первых режимах обкатки, когда условия трения особенно тяжелы, третий – тщательный выбор сорта смазочного масла.

**Приработочные покрытия.** Большую роль в облегчении приработки могут играть покрытия из мягкого металла. Быстро изнашиваясь в местах контакта кольца и втулки, медные покрытия поршневых колец позволяют быстро ликвидировать просветы и прорывы газов. Кроме того, при изнашивании частицы меди переносятся на поверхность втулки и служат ей защитным покрытием, предотвращающим задиры. Для той же цели широко применяют приработочные пояски на тронках поршней. В работе [3,15] приводятся результаты испытаний медного, оловянного и кадмиевого покрытий чугуновых образцов на износ. Установлено, что изнашивание медного покрытия в начальный период очень интенсивно, но через 15–20 мин практически прекращалось. Повышение нагрузки приводит к новому усиленному изнашиванию покрытия в течение около получаса после чего снова этот процесс обнаружить нельзя. Покрытие кадмием по эффективности аналогично медному, но интенсивность его изнашивания выше. Олово удаляется в масло с одинаковой скоростью во время приработки и после нее. Отмечается сокращение продолжительности приработки в 3 раза. По мнению К. Эглиша, кольца с мягким медным гальваническим покрытием толщиной 0,2–0,3 мм могут вообще не подвергаться обкатке, а сразу работать при полной нагрузке. Особенно хорошо по сообщению К. Эглиша, такие кольца зарекомендовали себя в крупных дизелях, работающих на тяжелых топливах. Он

считает, что при использовании колец с медным покрытием отпадает необходимость в применении коррегированных колец.

В целях снижения износа доступны различные основные инструменты для снижения трибологических напряжений. Наиболее популярными являются покрытия из хрома и молибденовые покрытия. Поскольку износостойкость данных материалов намного выше, чем у чугунных, то время приработки соответственно увеличивается приблизительно в 3-5 раз [8]. А на дизелях большой мощности при установке всего комплекта новых поршневых колец с хромовым покрытием, приработка практически сводится к нулю. Поскольку при установке новых колец образуются зазоры между радиальной стенкой поршневого кольца и стенкой цилиндра, что приводит к пропуску отработавших газов. Для выхода из данной ситуации хромированное поршневое кольцо устанавливают только в верхнюю канавку, в оставшиеся канавки устанавливают чугунные кольца, приработка которых осуществляется довольно быстро. Соответственно во время приработки первую функцию по герметичности камеры сгорания берёт на себя второе кольцо. Для облегчения приработки верхнего кольца необходимо ему обеспечить такую форму, чтобы просветов практически не было. Это можно сделать, например, притиркой кольца по цилиндру либо нанесением слоя мягкой меди.

В современном двигателестроении наблюдается тенденция к уменьшению периода обкатки. Это связано не только с появлением новых технологий и возможностей в машиностроении, но также с развитием химической промышленности, благодаря которой появляются высококачественные сорта масел, позволяющие снизить трибологическую нагрузку на детали цилиндропоршневой группы. Также хочется отметить получение богатого опыта, позволяющего на интуитивном уровне производить качественную обкатку, выбирая для конкретного двигателя определённый алгоритм работ, включающий в себя следующие факторы:

1. Количество обкаточных режимов;
2. Продолжительность всего периода обкаточных работ и каждого режима в отдельности;
3. Величина начальной нагрузки и ступени постепенного возрастания нагрузки двигателя;
4. Частота вращения двигателя;
5. Сорт топлива и смазочного масла.

Не учитывая тот или иной фактор может привести к повреждениям не притёртых деталей и соответственно к более дорогому ремонту двигателя.

**Количество обкаточных режимов.** Фирмы изготовители по-разному подходят к предъявлению требований по количеству обкаточных режимов. В большинстве случаев у производителей нет чёткого представления и чётких указаний по проведению обкатки. Большинство фирм (например, фирма «Фиат») склоняются к тому, что не нужно никаких сменных режимов, достаточно определённое время поработать на нагрузке 60-80% от номинальной мощности. Этого достаточно для притирки всех сопрягаемых деталей. Другие фирмы напротив рекомендуют повышать нагрузку этапами, при этом контролируя все показатели двигателя. Хочется отметить, что при выборе способа обкатки, все-таки следует руководствоваться рекомендациями организаций, эксплуатирующими двигатели, поскольку их эксплуатационный опыт более приближён к реальности.

**Продолжительность обкатки.** При замене втулки цилиндра число положительных результатов растёт с увеличением продолжительности обкатки. При длительности 100–200 часов (для МОД) подавляющее число обкаток заканчивается благополучно. Из-за малого количества материала (всего 41 случай) не удалось дифференцировать эти данные по типам дизелей. Обкатка после замены только поршневых колец (317 случаев) может быть проведена за более короткий отрезок времени.

**Влияние нагрузки.** Большинство удовлетворительных результатов обкатки после замены втулки цилиндра и поршневых колец наблюдалось, когда более половины общей продолжительности занимали режимы 70–80% номинального среднего индикаторного давления. После большинства видов ремонта, как показали результаты анализа собранных материалов, нагрузка первого режима обкатки может составлять около 50% номинального, а в некоторых случаях (мотористка и другие мелкие работы по ЦПГ) – даже 70%.

**Влияние ступеней повышения нагрузки.** Обкатка после замены втулки цилиндра или поршневых колец протекает лучше, если нагрузку повышают ступенями по 15%. При обкатке после других видов ремонта ЦПГ влияние нагрузки на исход обкатки прослеживается только для дизелей Фиат 909S, где больше положительных результатов получается при повышении нагрузки ступенями по 5% от номинального.

**Влияние частоты вращения.** По собранным материалам влияние частоты вращения дизеля на качество приработки оценить не удалось. Обкатки изменялась от 50–80 до 100% эксплуатационной, а во втором – от 90 до 100%. Средние значения частот вращения за время обкатки составляли: в первом случае 80–90%, во втором – около 95% эксплуатационной частоты. Однако если учесть работу дизелей по винтовой характеристике (связь между частотой вращения и нагрузкой), а также принять во внимание выводы о влиянии нагрузки, можно предположить, что обкатка при больших частотах вращения должна протекать благоприятнее.

Установлено, что после замены колец обкатку можно начинать с 70% нагрузки, после замены втулки цилиндра – с 50–60%, а после ее абразивной обработки – только с 40–50%. Переход нагрузки с одного режима на другой должен быть с меньшим перепадом для большей нагрузки и в среднем должен составлять около 10% от номинального. При опытных обкатках влияние сорта топлива на их исход не было обнаружено. Если качество цилиндрического масла соответствовало содержанию серы в топливе, обкатка на любых сортах топлива (дизельное, моторное и мазуты) протекала одинаково.

### Результаты

Обкатка двигателя: ДВС NVD-32/48–A2U N=730кВт, n=300об/мин, после ремонта ЦПГ, (втулки и кольца) масло 16Г2 ЦС или САЕ-40, топливо ДЛ (дизельное по ГОСТу).

1. Начинаем обкатку на прогревом двигателе –  $T_{\text{воды}} = 70^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{масла}} = 40^{\circ}\text{C}$ .

2. Назначаем режимы обкатки (1n, 2n, ... 6n) с 50% нагрузки от  $N_1 / N_{\text{ном}} = 50\%$ ,

обороты при различных нагрузках определяем по формуле:

$$n = n_{\text{ном}} \times \sqrt[3]{N_{1..6} / N_{\text{ном}}}$$

1n(50%)=300·0,5=300·0,8=240 об/мин

2n(60%)=300·0,84=252 об/мин.

3n(70%)=300·0,893=268 об/мин

4n(80%)=300·0,933=280 об/мин

5n(90%)=300·0,966= 290 об/мин

6n(100%)=300 об/мин.

Режим обкатки ступенчатый, время перехода с одного режима на следующий – плавное =15-20мин. Режимы :1n, 2n, 3n, 4n-выполняли на швартовых (судно без груза и балласта), продолжительность одного режима 6-8 часов, затем в ходу (в балласте или грузу) - 5n (продолжительность=12час) и 6n (24часа и более). Можно 1,2,3, режимы выполнять на швартовых, остальные в ходу.

3. Двигатель прогрет, масляные фильтры чистые, пробный пуск и при нормальных показаниях КИП и работе двигателя в течение 1 часа доводим до 240

об/мин, при этой частоте вращения работает 30 мин., затем останавливаем двигатель и осмотр «движения».

4. Обкатку на 1,2,3,4 режимах производим без остановок двигателя, для исключения «адгезии» (прилипания пары трения при остановке).

Режим 1n -240 об/мин., - температура газов ( $T_{в.г.}$ ) по цилиндрам должна быть не менее 250°C. Так как разница температур между над поршневым пространством и первым компрессионным кольцом составляет 140-150 °C, [16,17], например:  $T_{в.г.}=230^{\circ}\text{C}$ , при этом –  $T$  первого кольца составит –  $230-140=90^{\circ}\text{C}$  и при этой температуре влага, находящаяся в поступившем в цилиндр заряде воздуха будет конденсироваться на первом кольце и стекать в картер, повреждая масляную пленку и таким образом создается «сухое» трение в этом месте. (при  $250-140=110^{\circ}\text{C}$  влага испарится). На этом режиме имеем значительный износ втулка-кольцо, продукты износа попадают в картер и засоряют масляный фильтр. Давление масла до фильтра растет в течение 3-4 часов, затем имеем постоянное давление, переходим на чистый фильтр и работаем еще 3 часа. (происходит приработка поверхностей). На первом режиме проработав в сумме 6-7 часов, переходим плавно (20 мин) на режим 2n. Режимы 2n, 3n, 4n проводим аналогично первому режиму без остановки двигателя, контролируя температуру подшипников, давление масла, переходы на чистый масляный фильтр. Изменение температуры охлаждающей воды цилиндра – сигнал неудовлетворительной приработки в нем. Закончив 4 режим, останавливаем двигатель, через 30-40 минут, вскрываем картер и осматриваем «движение», пробуксовываем двигатель при подаче масла, затем осматриваем состояние цилиндрических втулок: площадь приработки, отсутствие прорыва газов, цветов побежалости, глубоких рисок, чего ни разу не было обнаружено. Закрываем картер. При стоянке систематически при подаче масла пробуксовываем двигатель. Режимы 5n и 6n проводили в ходу (12 и 24 часа соответственно, по технологии режимов 1n, 2n, 3n, 4n). Температура выхлопных газов при номинальных оборотах и нагрузке не должна превышать: температура вспышки применяемого масла +140°C. Пример: температура вспышки масла =230°C., тогда допустимая температура выхлопных газов не должна превышать  $230+140=370^{\circ}\text{C}$ ., иначе масло будет возгораться в 1-ом кольце, закоксовывать 1-ую канавку, 1-ое кольцо «залижет» и возможна его поломка [16,17].

Все обкатки, проведенные по вышеприведенному методу, дали положительный результат, работоспособность кольцевого уплотнения увеличилась в среднем в 2-2,5 раза по сравнению рекомендуемой на речном флоте бесступенчатой обкаткой равной 5-12 часов.

По такому методу была произведена обкатка быстроходного двигателя 6Ч12/14, мощностью 50 кВт, 1500об/мин. После замены цилиндрических втулок и всех колец. Получили хороший результат – двигатель отработал на этих втулках и кольцах без их замены порядка 6500 часов.

Используя опыт натуральных обкаток [15] и свой опыт, мы получили следующие выражения для определения общего времени для обкатки двигателя:

1. Малооборотный двигатель (МОД) – 12000 об/мин·час (8 режимов);
2. Среднеоборотный двигатель (СОД) – 15000 об/мин·час +12часов (на последнем режиме);
3. Высокооборотный двигатель (ВОД) – 18000 об/мин·час + 6часов (на последнем режиме).

Для А) и В) предпочтительно применять близко к плавной бесступенчатой обкатке на 8-14 режимах, для Б) - 6 ступенчатый режим. Все обкатки рекомендуем (кроме Б, режимы 5n и 6n) выполнять, не останавливая двигатель (адгезия!!!). Пример: нужно обкатать двигатель 6Ч12/14, 1500 об/мин. Используем выражение В) –  $18000 \text{ об/мин}\cdot\text{час}/1500 \text{ об/мин}=12\text{час}+6\text{час}$ . Назначаем всего 12 режимов, 11

продолжительностью 1 час и 12-ый 7 часов. Обкатка приближается к плавной бесступенчатой.

При стоянке рекомендуется периодически проворачивать двигатель при подаче смазочного масла!!!

При обкатке хорошие результаты получаются при овальности цилиндра, не превышающей 0,002 диаметра цилиндра, при овальности 0,005 диаметра цилиндра и более положительных результатов, как правило, не имеется.

### **Заключение**

В данном исследовании был предложен алгоритм работ по обкатке, необходимой для полноценной работы двигателя. В период своей службы двигатель не раз подвергается техническому обслуживанию, ремонтным работам после которых необходимо проводить обкаточные работы, цель которых заключается в доведении характеристик двигателя до исходных, путём притирки сопрягаемых деталей. Особенно на характеристики двигателя влияет работа деталей цилиндропоршневой группы, а именно поршневых колец. Любой выем поршневого кольца из канавки поршня, например, для чистки от нагара, приводит его к незначительной пластической деформации, в силу своей конструкции. Соответственно установленное кольцо в свою поршневую канавку, не будет полноценно работать, поскольку изменённая форма не обеспечит плотного прилегания к поверхности втулки. Такого рода дефекты и устраняют при помощи обкатки. Поскольку данный технологический процесс можно назвать заключительной стадией подготовки двигателя к эксплуатации и приёма номинальной нагрузки, желательнее данную операцию проводить в условиях близкой к эксплуатационным вплоть до использования топлива, которое обычно применяют в эксплуатационный период. Кроме того, необходим контроль за параметрами работы дизеля, такими как: температура выпускных газов, температура охлаждающей воды на входе в цилиндр и выходе из цилиндра, температура охлаждающей воды или масла на входе в поршень и выходе из него. При отклонении этих параметров работы обкатываемых цилиндров от норм, а также появлении необычных шумов и стуков дизель необходимо остановить, выявить причину ненормальной работы, устранить ее и после этого принимать решение о режиме дальнейшей работы. Переход с одного режима на другой выполнять плавно, нельзя резко изменять нагрузку. Предложенный один из алгоритмов работ по обкатке двигателя позволяет гарантировать максимальную выработку своего ресурса, а при его нормальной эксплуатации – значительное превышение.

### **Список литературы**

1. Андрусенко, С. Е., Андрусенко, О. Е., Колыванов, В. В., & Матвеев, Ю. И. (2021). Механизмы управления рабочим процессом дизельного двигателя. *Научные проблемы водного транспорта*, (68), 98-108. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.206>
2. Крагельский, И.В. и др. Основы расчетов на трение и износ. – М. «Машиностроение». – 1977.
3. Асташкевич, Б.М. Вопросы повышения износостойкости ЦПГ транспортных двигателей. – Вестник машиностроения. – 1976.
4. Семенов, В.С. Долговечность ЦПГ судовых дизелей / В.С. Семенов, П.С. Трофимов // – М. «Транспорт». – 1969.
5. Семенов, В.С. Теплонапряженность и долговечность ЦПГ судовых двигателей. – М. «Транспорт». – 1977.
6. Rogers, M.D. The mechanism of scuffing in diesel engines. – 1980.
7. Старосельский, А.А. Долговечность трущихся деталей машин / А.А. Старосельский, Д.Н. Гаркунов // М. «Машиностроение». – 1967.
8. Munro R., Hughes G.N., Current piston and ring practice and the problem of scuffing in diesel engine. – DE and USP. – 1970.

9. Воинов, Н.П. Выбор оптимальных условий обкатки ДВС. – Вестник машиностроения. – 1955.
10. Шаронов, Г.П. Применение присадок к маслам для ускорения приработки двигателей. – М. «Химия». – 1965.
11. Мишин, И.А. Долговечность двигателей. – Л. «Машиностроение» 1976.
12. Каган, С.Г. Снижение расхода ГСМ, МОД. – ЦБТНИИ, ММФ. – 1979.
13. Матвеевский, Р.М. и др. Противозадирная стойкость смазочных сред при трении в режиме граничной смазки. – М. «Наука». – 1978.
14. Сомов, В.А. Смазка судовых дизелей. – Л. «Судостроение». – 1985.
15. Владимиров, В.А. Обкатка судовых двигателей / В.А. Владимиров, А.Е. Гриншпун // М. «Транспорт». – 1982
16. Владимиров, В.А. Некоторые вопросы теории приработки ЦПГ. – ЦНИИМФ. – 1977.
17. Владимиров, В.А. Исследования и оптимизация процесса приработки ЦПГ. – Диссертация. – Одесса-Ленинград. – 1979.

#### References

1. Andrusenko, S. E., Andrusenko, O. E., Kolyvanov, V. V., & Matveev, YU. I. (2021). Mekhanizmy upravleniya rabochim protsessom dizel'nogo dvigatelya. Nauchnye problemy vodnogo transporta, (68), 98-108. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.206>
2. Kragel'skii, I.V. i dr. Osnovy raschetov na trenie i iznos. – М. «MashinostroeniE». – 1977.
3. Astashkevich, B.M. Voprosy povysheniya iznosostoikosti TSPG transportnykh dvigatelei. – Vestnik mashinostroeniya. – 1976.
4. Semenov, V.S. Dolgovechnost' TSPG sudovykh dizelei / V.S. Semenov, P.S. Trofimov // – М. «Transport». – 1969.
5. Semenov, V.S. Teplonapryazhennost' i dolgovechnost' TSPG sudovykh dvigatelei. – М. «Transport». – 1977.
6. Rogers, M.D. The mechanism of scuffing in diesel engines. – 1980.
7. Starosel'skii, A.A. Dolgovechnost' trushchikhhsya detalei mashin /A.A. Starosel'skii, D.N. Garkunov// М. «MashinostroeniE». – 1967.
8. Munro R., Hughes G.N., Current piston and ring practice and the problem of scuffing in diesel engine. – DE and USP. – 1970.
9. Voinov, N.P. Vybora optimal'nykh uslovii obkatki DVS. – Vestnik mashinostroeniya. – 1955.
10. Sharonov, G.P. Primenenie prisadok k maslam dlya uskoreniya prirabotki dvigatelei. – М. «KhimiYA». – 1965.
11. Mishin, I.A. Dolgovechnost' dvigatelei. – Л. «MashinostroeniE» 1976.
12. Kagan, S.G. Snizhenie raskhoda GSM, MOD. – TSBTNI, MMF. – 1979.
13. Matveevskii, R.M. i dr. Protivozadirnaya stoikost' smazochnykh sred pri trenii v rezhime granichnoi smazki. – М. «Nauka». – 1978.
14. Somov, V.A. Smazka sudovykh dizelei. – Л. «SudostroeniE». – 1985.
15. Vladimirov, V.A. Obkatka sudovykh dvigatelei / V.A. Vladimirov, A.E. Grinshpun // М. «Transport». – 1982
16. Vladimirov, V.A. Nekotorye voprosy teorii prirabotki TSPG. – TSNIMF. – 1977.
17. Vladimirov, V.A. Issledovaniya i optimizatsiya protsessa prirabotki TSPG. – Dissertatsiya. – Odessa-Leningrad. – 1979.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Матвеев Юрий Иванович**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Эксплуатации судовых энергетических установок, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: : matveeveseu@mail.ru

**Yuri I. Matveev**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

**Храмов Михаил Юрьевич**, к.т.н., доцент, доцент кафедры Эксплуатации судовых энергетических установок, Волжский

**Mikhail Y. Khramov**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st,

государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: m.u.hramov@yandex.ru

**Колыванов Владимир Викторович**, к.т.н., доцент кафедры Эксплуатации судовых энергетических установок, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: v.v.kolyvanov@yandex.ru

**Курицын Сергей Юрьевич**, аспирант кафедры ЭСЭУ (Эксплуатации судовых энергетических установок) Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, Ул. Нестерова, 5, ауд. 667, e-mail: kuritsyn@gckb.ru

Nizhny Novgorod, 603951

**Vladimir V. Kolyvanov**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

**Kuritsyn Sergey Yuryevich**, postgraduate student of the Department of ESEU (Operation of Ship power plants) Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail: kuritsyn@gckb.ru

Статья поступила в редакцию 11.05.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 11.05.2023; published online 20.09.2023.

УДК 629.1

DOI: 10.37890/jwt.vi76.399

## **Особенности разработки системы адаптивного управления специальными судовыми устройствами на примере траловой лебедки рыбопромыслового судна**

**В.В. Попов**

**А.В. Ивановская**

*ORCID: 0000-0002-3548-9083*

**А.Н. Ивановский**

*ORCID: 0000-0002-5012-1439*

*Керченский государственный морской технологический университет, г. Керчь, Россия*

**Аннотация.** Траловая лебедка, являясь частью вспомогательной энергетической установки рыбопромыслового судна, во время своей работы в значительной мере влияет на безопасность, надежность, энергоэффективность судна в целом. Это обусловлено особенностью работы траловой лебедки. Кроме действующих внешних гидрометеорологических факторов, таких как ветровая нагрузка, качка, шторм, на динамические показатели машины большое влияние оказывает переменность нагружения со стороны буксируемого и поднимаемого орудия лова с уловом. Такие нестационарные воздействия оказывают негативное влияние на работоспособность и надежность работы оборудования. Данный вид грузоподъемных устройств на рыбопромысловом судне не имеет резерва. Поэтому при его выходе из строя останавливается и технологический процесс промысла, что влечет большие экономические потери. Для плавного регулирования работы лебедки в нестационарных условиях в работе предлагается система адаптивного управления с повышенным уровнем надежности, позволяющая плавно реагировать на перепады нагрузки. Разработана схема системы управления, а также представлена схема самого привода траловой лебедки, чувствительного к изменению нагружения, суть которого заключается в подключении резервного гидромотора при превышении нагружения со стороны буксируемого или поднимаемого объекта.

**Ключевые слова:** траловая лебедка, адаптивный привод, переменность нагружения, схема

## **Specific features of the development of an adaptive control system for special ship devices on the example of a trawl winch of a fishing vessel**

**Vladimir V. Popov**

**Aleksandra V. Ivanovskaya**

*ORCID: 0000-0002-3548-9083*

**Aleksei N. Ivanovskii**

*ORCID: 0000-0002-5012-1439*

*Kerch State Maritime Technological University, Russian Federation*

**Abstract.** The trawl winch, being part of the auxiliary power plant of a fishing vessel, during its operation significantly affects the safety, reliability, and energy efficiency of the vessel as a whole. This is due to the peculiarity of the trawl winch. In addition to the existing external hydrometeorological factors, the dynamic performance of the machine is greatly influenced by the variability of the loading from the towed and raised fishing gear with the catch. Such non-stationary impacts have a negative impact on the performance and reliability of the

equipment. Also, this type of lifting devices on a fishing vessel does not have a reserve. Therefore, when it fails, the fishing process also stops, which entails large economic losses. For smooth control of the winch operation in non-stationary conditions, an adaptive control system with an increased level of reliability is proposed in the work, which makes it possible to smoothly respond to load fluctuations. A control system diagram has been developed, as well as a diagram of the trawl winch drive itself, which is sensitive to changes in loading, the essence of which is to connect a backup hydraulic motor when the load from the towed or lifted object is exceeded.

**Keywords:** trawl winch, adaptive drive, load variability, control system diagram

### **Введение**

Грузоподъемное оборудование рыбопромыслового судна играет важную роль в процессе добычи гидробионтов. От работы вспомогательных механизмов такого вида судов зависит энергоэффективность судна в целом. При траловом лове рыбы задействованы как главный двигатель, работа которого необходима для движения судна, так и вспомогательные дизель-генераторы, входящие в систему привода рыбопромыслового грузоподъемного оборудования. Такое оборудование на судне не дублируется. Поэтому от его надежности и работоспособности зависит успешность всего процесса промысла рыбы. Масса буксируемого объекта – трала с уловом – может достигать порядка 70 тонн в зависимости от района промысла и вида гидробионтов [1-3]. Отсюда, переменность такого нагружения может значительно сказываться на работе оборудования, вызывая нестационарные динамические нагрузки. Обрыв троса в случае резких торможений навивочного барабана может привести к потере орудия лова с уловом и больших экономических потерь [4-6]. Следовательно, исследования, направленные на повышение надежности грузоподъемного оборудования рыбопромыслового судна являются актуальными и вызванными запросами практики.

**Целью** работы является разработка системы адаптивного управления траловой лебедки, а также его реализация в виде привода, чувствительного к изменению нагружения.

### **Материалы и методы**

Грузоподъемное оборудование, которое эксплуатируется на современных рыбопромысловых судах приводится в движение от электрического, гидравлического двигателей или непосредственно от дизеля. Последний тип привода применяется в основном на маломерных судах. Поэтому при выборе привода грузоподъемного устройства рассматривают в основном электромеханический и гидромеханический. Проведенный динамический анализ показал, что длительность переходного процесса в гидромеханическом приводе в 3 раза меньше, чем у электропривода, коэффициент динамичности у гидропривода также меньше в 2 раза. Отсюда, для снижения динамических усилий в механической системе рассматриваемого вида оборудования целесообразно использовать гидравлический привод [7-9].

Постоянное увеличение рабочей скорости в сочетании с требованиями к бесшумной работе, безударному движению, бесступенчатой регулировке скорости и упрощенному управлению всеми типами машин привели к возникновению проблем в конструкции машин, которые во многих случаях лучше всего решаются с помощью гидравлических систем. При таком расположении введение быстрого силового хода, требующего длинных валов или коробок передач, обеспечивающих ограниченное количество переключений, заменяется гидравлическим насосом и цилиндром, обеспечивающим бесступенчатый диапазон скоростей, бесшумную работу и безударное реверсирование. Машина защищена от поломок, а износ сведен к минимуму, поскольку все детали работают в идеальных условиях в трансмиссионной

среде, а все механические детали, такие как шестерни, винты, рейки и муфты, исключены. Приводное движение достигается с помощью редуктора с регулируемой скоростью, состоящего из двух частей, а именно насосного блока гидравлической трансмиссии и блока гидравлического двигателя, в то время как подающее движение достигается насосом и цилиндром, поршень которого приводится в движение маслом, циркулирующим из насоса и управляемым, трубопроводом и клапаном.

Преимущества гидравлического привода:

- большая гибкость управления и возможность получения бесконечного числа скоростей от нуля до максимума;
- плавный реверс;
- простое и эффективное управление как вручную, так и автоматически;
- бесшумная работа с автоматической смазкой трансмиссионным маслом;
- более низкое энергопотребление, которое автоматически изменяется в зависимости от сопротивления;
- безопасность, обеспечиваемая предохранительными клапанами.

К недостаткам гидравлической системы можно отнести:

- гидравлические жидкости являются основным требованием любой гидравлической системы; утечка этих жидкостей создаст экологические проблемы и проблемы безопасности;
- загрязняющие вещества, присутствующие в гидравлической жидкости, ухудшают рабочие характеристики и производительность системы, следовательно, требуется постоянная фильтрация;
- неправильный выбор гидравлической жидкости для системы приведет к повреждению компонентов; требуется надлежащее техническое обслуживание;
- имеет тенденцию несколько изменяться из-за изменений вязкости масла с изменением температуры; в некоторых случаях этот недостаток можно в значительной степени преодолеть, предусмотрев резервуар достаточной емкости, чтобы масло перед рециркуляцией надлежащим образом охлаждалось.

Для того, чтобы указанные специфические преимущества гидропривода по сравнению с другими видами управления смогли стать полностью эффективным. Следует учитывать особенности гидравлики.

На первоначальном этапе проектирования гидравлического привода грузоподъемного устройства следует собрать все данные, касающиеся последовательности движений вместе с указанием потребности в силе и моменте для каждого движения, а также требуемая динамика и собственная частота. Учет нагрузочной характеристики, таким образом также перерывов, в течение которых не требуется масло и давление или требуется только давление. Поэтому целесообразным является построение диаграммы зависимости перемещения от времени или диаграммы состояния. На диаграмме перемещения изображается взаимодействие элементов, что является удобным для простых последовательностей операций, для проектов или эскиза предложения. Диаграмма состояния содержит функциональную последовательность рассматриваемых рабочих унифицированных узлов в качестве диаграмм движений и их сопряжений с точки зрения техники автоматического управления.

Задачей системы управления является соединение системы привода с системой отвода мощности. При этом осуществляется разделение на:

- поток мощности или поток рабочей среды с направлением, величиной и уровнем давления от гидробака к потребителю, включая требуемые элементы;

- поток сигналов, который служит для приема и переработки всех внешних информации, которые требуются для того, чтобы оказывать воздействие на приборы потока мощности в соответствии с задачей, т.е. имеет функцию переходить плавно в поток мощности (рис. 1).

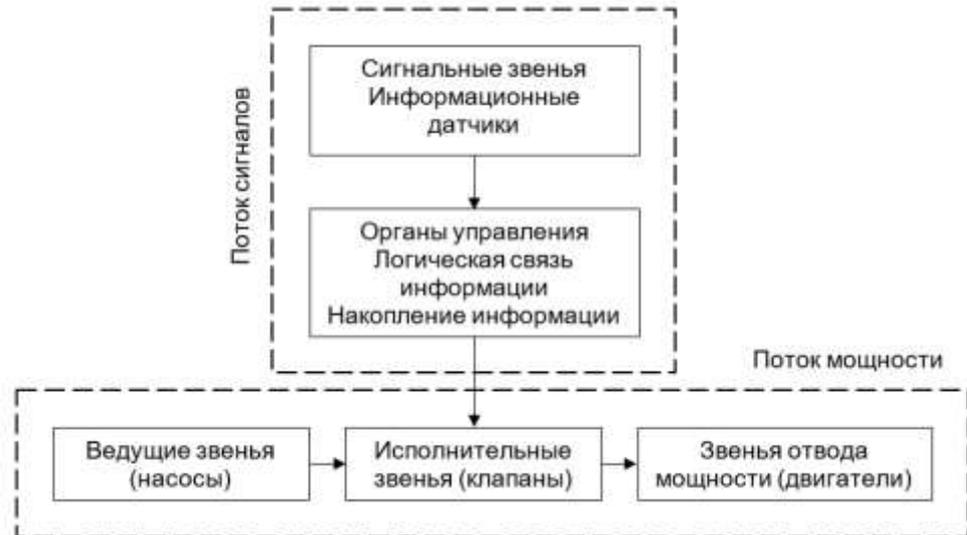


Рис. 1. Взаимодействие потока сигналов с потоком мощности

Если будут известны схема соединений и требуемая энергия для отвода мощности, то тогда будут также установлены номинальные величины отдельных исполнительных звеньев. Свободно может выбираться приведение в действие клапанов, которое может исполняться, как механическая, электрическая, электронная, гидравлическая или пневматическая конструкция, или для обеспечения оптимальной функции, как комбинированная конструкция.

Система управления обычно разрабатывается для «номинальной» регулируемой системы. Однако же в нашем случае мы имеем систему с переменностью нагружения, поэтому зачастую имеем значительное отклонение от номинала в виде вариации параметров. Такие нарушения параметров влияют на эффективность управления системы. Но это ни в коей мере не должно повлиять на стабильность работы оборудования. Поэтому для обеспечения выполнения этих требования предполагается система адаптивного управления. В такой системе поведение системы управления адаптируется к изменениям свойств регулируемой системы и ее сигналов. В нашем случае – это натяжение троса.

### Результаты исследования

Для траловой лебедки рыбопромыслового судна была выбрана адаптация системы управления с обратной связью (рис. 2). Знак «+» тут обозначает суммирование управляющих воздействий механизма адаптации и регулирующего контроллера.

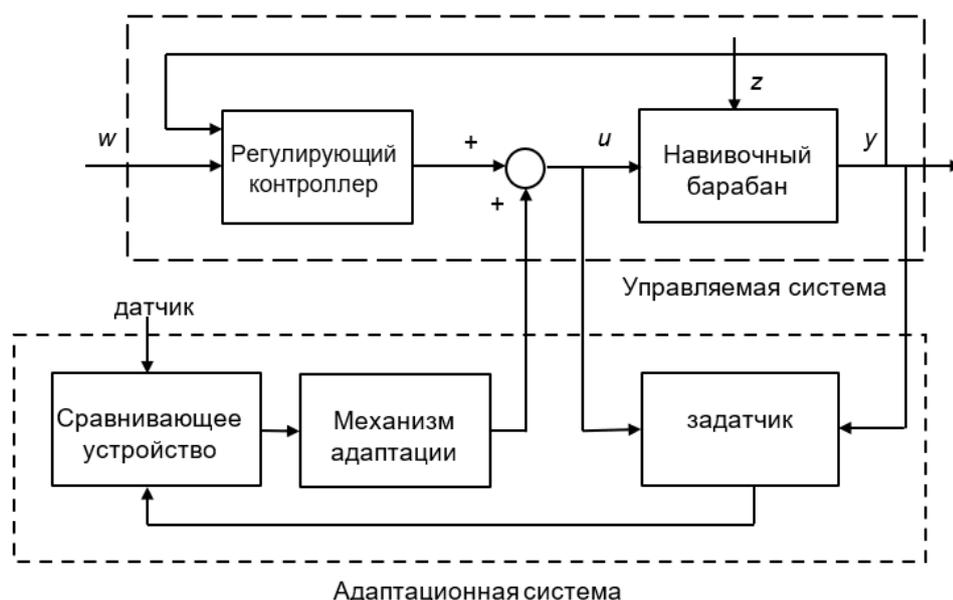


Рис. 2. Адаптивная система управления траловой лебедки  
 $y$  – управляемая переменная;  $w$  – опорная переменная;  
 $u$  – переменное воздействие;  $z$  – возмущение

Обратная связь в основном используется в системах управления для снижения влияния возмущающего воздействия на контролируемые переменные, возвращая их к желаемому значению. Для этого сначала измеряют контролируемые переменные с помощью датчика, затем измерения сравниваются с необходимыми значениями в сравнивающем устройстве, и разница подается в регулирующий контроллер, который будет генерировать соответствующий контроль. Рассматриваемая адаптивная система управления может быть рассмотрена как иерархическая система:

- уровень 1: обычное управление с обратной связью;
- уровень 2: цикл адаптации.

На практике зачастую присутствует и дополнительный уровень 3: мониторинг, который решает выполняются ли условия для корректной работы адаптации.

По принципу управления гидравлические приводы можно классифицировать следующим образом:

- А – системы связи с объемной подачей;
- В – системы связи с давлением.

В свою очередь такие системы имеют следующие подсистемы:

- А1 – управление подачей (регулирование рабочего объема насоса);
- А2 – управление рабочим объемом двигателя (регулирование рабочего объема двигателя);

- А3 – управление подачей насоса и управление рабочим объемом двигателя;
- ВА – управление посредством сопротивления (дрессельное управление)

- ВА1 – дрессельное управление с насосом с постоянным рабочим объемом;

ВА2 – дрессельное управление с насосом с регулируемым рабочим объемом (система постоянного давления);

- ВА3 – управление по чувствительности к нагрузке;
- ВА3.1 – с насосом с регулируемым рабочим объемом;
- ВА3.2 – с насосом с постоянным рабочим объемом;

- ВВ – управление по принципу вытеснения;

- ВВ1 – регулирование рабочего объема двигателя.

Применительно к системе привода таловой лебедки рыбопромыслового судна наиболее целесообразно применение системы управления посредством сопротивления с регулированием чувствительным к нагрузке и с насосом с регулируемым рабочим объемом. С помощью адаптивной системы обратной связи по давлению нагрузки можно согласовывать давление и объемный расход с требованиями потребителя. В распоряжение предоставляется только незначительно большее количество гидравлической мощности, чем это требуется. Такое управление работает очень чувствительно к регулировке и почти не зависит от давления нагрузки.

Особенностью предлагаемого чувствительного к переменности привода является включение в гидромеханическую систему резервного гидромотора ГМ2, которые при превышении нагрузки стороны системы «трос – буксируемый объект» будет включаться одновременно с основным гидромотором ГМ1 (рис. 3).

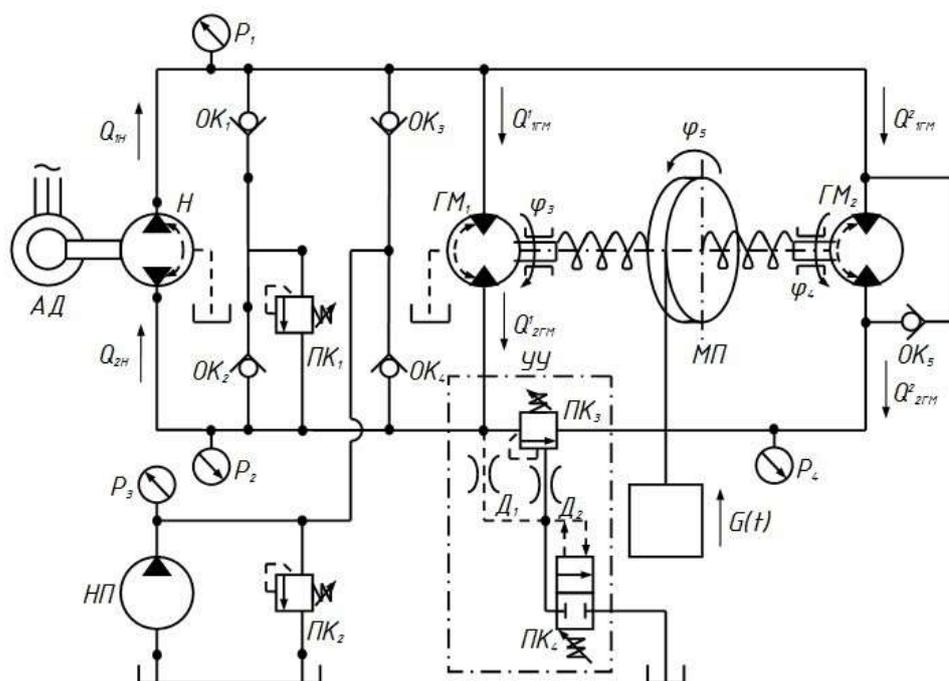


Рис. 3. Схема гидропривода грузоподъемного устройства, адаптивного к переменности нагрузки

Данная гидромеханическая система приводится в движение от асинхронного двигателя АД, который в свою очередь связан с вспомогательным дизель-генератором. Максимальное давление, которое создается насосом Н, определяется наложением предохранительного клапана ПК1, соединенного с нагнетательной линией через обратные клапаны ОК1 и ОК2. Реверс всей гидромагистрали осуществляется насосом Н через обратные клапаны ОК3 и ОК4. Подпиточный насос НП включен в систему для восполнения утечек, когда при заданном постоянном давлении, которое определяется переливным насосом ПК2, подается в кольцевую линию рабочая жидкость. В такой системе адаптивного управления в гидромагистрали, которая соединяет напорную полость полусоси с гидромотором ГМ2, устанавливается управляющее устройство УУ, сигнал от которого идет на резервный гидромотор через обратный клапан ОК5. Управление гидромотором ГМ2 осуществляется в зависимости от давления на входе гидросистемы P4 в случае его

превышения от номинального значения  $P_1$ . Крутящий момент на валу навивочного барабана и скорость подъема регулируется расходом и давлением рабочей жидкости.

Также приняты следующие обозначения:

$P_1, P_2$  – давления в напорной и сливной магистралях;

$P_3$  – давление настройки подпиточного клапана ПК<sub>2</sub>;

$P_4$  – давление в магистрали гидродвигателя ГМ<sub>2</sub> после срабатывания управляющего устройства УУ;

$P_{УУ}$  – давление в гидролинии устройства управления;

$\varphi_1$  – угол поворота ротора электродвигателя;

$\varphi_2$  – угол поворота вала насоса;  $\varphi_3$  – угол поворота вала гидромотора ГМ<sub>1</sub>;

$\varphi_4$  – угол поворота вала гидромотора ГМ<sub>2</sub>;

$\varphi_5$  – угол поворота навивочного барабана;

$Q_{ГМ}^1, Q_{ГМ}^2$  – расход рабочей жидкости гидромотора ГМ<sub>1</sub> через напорную и сливную магистраль соответственно;

$Q_{2ГМ}^1, Q_{2ГМ}^2$  – расход рабочей жидкости гидромотора ГМ<sub>2</sub> через напорную и сливную магистраль соответственно;

$G(t)$  – поднимаемый груз переменной массы.

### Заключение

Предлагаемая концепция системы адаптивного управления приводом траловой лебедки позволит значительно повысить уровень надежности оборудования за счет плавного регулирования при работе в условиях переменности. Такая система управления, чувствительная к нагружению, может быть предложена к применению в подобного рода грузоподъемного оборудования.

### Список литературы

1. Карпенко В.П., Торбан С.С. Механизация и автоматизация процессов промышленного рыболовства. Москва: Агропромиздат, 1990. 464 с.
2. Тё А.М. Эксплуатация судовых вспомогательных механизмов, систем и устройств. Владивосток: Морской государственный университет, 2014. 178 с.
3. Башуров Б. П., Скиба А.Н., Чебанов В.С. Функциональная надежность и контроль технического состояния судовых вспомогательных механизмов. Новороссийск: МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2009. 192 с.
4. Бурлакова Н.Н., Бурлаков Д.Б., Еремин Ю.В. Проектирование палубного оборудования рыбопромысловых судов с использованием виртуальных тренажеров // Вестник Дальневосточного государственного технического университета. 2011. № 1 (6). С. 153-160.
5. Антипов В.В., Бобрович В.Ю., Болховитинов В.К., Болисов А.А. Математическое обеспечение и аппаратная реализация задач управления комплексом «рыбопромысловое судно–орудия лова» // Морской вестник. 2011. № 4 (40). С. 45-49.
6. Нино В.П. Диагностика технических средств на рыбопромысловых судах в процессе их эксплуатации // Рыбное хозяйство. 2014. № 4. С. 113-115.
7. Ивановская А. В., Богатырева Е. В., Попов В. В. Обоснование применения гидравлического привода, чувствительного к изменению нагружения // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2018. № 1. С. 62-68.
8. Ivanovskaya A., Popov V., Bogatyreva E., Bidenko S. Development of complex mathematical model of hydraulic drive, sensitive to the loading variations // Vibroengineering Procedia. 2019. Vol. 25. – Pp. 171–176. DOI:10.21595/vp.2019.20797.
9. Ивановская А. В., Жуков В. А., Попов В. В. Исследование динамики приводов грузоподъемных устройств рыбопромыслового судна // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова. 2021. Т. 13. № 6. С. 875–886. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-6-875-886.

10. Богатырева, Е.В., Ивановская А. В. Влияние переменных нагрузок на методику расчета силового привода // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2018. № 4. С. 61-72.

#### References

1. Karpenko V.P., Torban S.S. Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya protsessov promyshlennogo rybolovstva [Mechanization and automation of industrial fishery processes]. - Moscow.: Agropromizdat, 1990. 464 p.
2. Tyo A. M. Eksploatatsiya sudovykh vspomogatel'nykh mekhanizmov, sistem i ustroystv. [Operation of ship auxiliary mechanisms, systems and devices]. – Vladivostok.: Morskoy gosudarstvennyj universitet, 2014. 178 p.
3. Bashurov B. P., Skiba A. N., Chebanov V.S. Funktsional'naya nadezhnost' i kontrol' tekhnicheskogo sostoyaniya sudovykh vspomogatel'nykh mekhanizmov [Functional reliability and monitoring of the technical condition of ship auxiliary mechanisms]. Novorossiysk: MGA imeni admirala F. F. Ushakova, 2009, 192 p.
4. Burlakova N. N., Burlakov D. B., Yerebin Yr.V. Proektirovanie palubnogo oborudovaniya rybopromyslovykh sudov s ispolzovaniem virtualnykh trenazherov [Design deck equipment of fishing vessels using the virtual simulation] Vestnik Dal'nevostochnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011, no.1(6), pp.153-160, (In Russ).
5. Antipov V.V., Bobrovich V.Yu., Bolkhovitinov V.K., Bolisov A.A. Matematicheskoe obespechenie i apparatnaya realizatsiya zadach upravleniya kompleksom «rybopromyslovoe sudno–orudiya lova» [Mathematical support and hardware implementation of the tasks of controlling the complex "fishing vessel - fishing gear]. Morskoi vestnik. 2011, no 4(40), pp. 45-49. (In Russ).
6. Nino V.P. Diagnostika tehniceskikh sredstv na rybopromyslovykh sudah v processe ih ekspluatatsii [Diagnostics of technical means on fishing vessels during their operation]. Rybnoe hozyajstvo, 2014, no 4, pp. 113-115. (In Russ).
7. Ivanovskaya A. V., Bogatyreva E. V., Popov V. V. Obosnovanie primeneniya gidravlicheskogo privoda, chuvstvitelnogo k izmeneniyu nagruzheniya [Rationale for using hydraulic drive sensitive to changes in loading]. Vestnik Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta, 2018, no. 1, pp. 62-68. (In Russ).
8. Ivanovskaya A., Popov V., Bogatyreva E., Bidenko S. Development of complex mathematical model of hydraulic drive, sensitive to the loading variations // Vibroengineering Procedia. 2019. Vol 25, Pp. 171-176. DOI:10.21595/vp.2019.20797.
9. Ivanovskaia A. V., Zhukov V. A., Popov V. V. Issledovanie dinamiki privodov gruzopodemnykh ustrojstv rybopromyslovogo sudna [Studying dynamics of drives of load-lifting devices of fishing vessel]. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 875-886. (In Russ). DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-6-875-886.
10. Bogatyreva E.V., Ivanovskaya A.V. Vliyanie peremennykh nagruzok na metodiku rascheta silovogo privoda [Influence of variable loads on the method of calculation of the power drive]. Vestnik Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta, 2018, no. 4, pp. 61-72. (In Russ).

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Попов Владимир Владимирович**, старший преподаватель кафедры судовых энергетических установок «Керченский государственный морской технологический университет» (ФГБОУ ВО «КГМТУ»), 298309, Российская Федерация, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, kamushburun@gmail.com

**Vladimir V. Popov**, Senior Lecturer of the Department of of marine power plants, Kerch State Maritime Technological University, 82 Ordzhonykydze Str., Kerch, 298309, Russian Federation, e-mail: kamushburun@gmail.com

**Ивановская Александра Витальевна**, к.т.н., доцент, доцент кафедры судовых энергетических установок «Керченский

**Aleksandra V. Ivanovskaya**, PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Department of of marine power plants, Kerch

государственный морской технологический университет» (ФГБОУ ВО «КГМТУ»), 298309, Российская Федерация, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, invkerch@yandex.ru

**Ивановский Алексей Николаевич**, ассистент кафедры судовождения и промышленного рыболовства «Керченский государственный морской технологический университет» (ФГБОУ ВО «КГМТУ»), 298309, Российская Федерация, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, aleksei.ivanovskii@yandex.ru

State Maritime Technological University, 82 Ordzhonykydze Str., Kerch, 298309, Russian Federation, e-mail: invkerch@yandex.ru

**Aleksei N. Ivanovskii**, professor assistant of Department of Navigation and Industrial Fishing, Kerch State Maritime Technological University, 82 Ordzhonykydze Str., Kerch, 298309, Russian Federation, e-mail: aleksei.ivanovskii@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 10.06.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 10.06.2023; published online 20.09.2023.

УДК 621.352.6  
DOI: 10.37890/jwt.vi76.401

## **Проблемы производства судовых энергетических установок на базе топливных элементов в Российской Федерации**

**И.В. Розов**  
**С.В. Титов**  
**Е.В. Черных**

*Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Россия*

**Аннотация.** Водородная энергетика в настоящее время рассматривается многими странами как перспективное решение для уменьшения углеродного следа и включает в себя такие технологии, как: производство, использование, хранение, транспортировка водорода, производство топливных элементов и т.д. В статье показана актуальность внедрения водородной энергетике как одного из самых перспективных направлений по переходу к декарбонизированной экономике во всём мире. Обоснована перспективность применения низкотемпературных водородных топливных элементов с протонообменной мембраной как наиболее эффективных и экологически чистых источников энергии для водного и других видов транспорта, не требующих первоначального прогрева до рабочей температуры, отличающихся быстрым запуском и надёжностью. Описаны устройство и принцип работы топливного элемента, его основные компоненты и выполняемые ими функции. Представлен опыт некоторых российских организаций, выполняющих исследования в части улучшения характеристик протонообменных мембран, газодиффузионных слоёв. Приведен перечень отечественных мембранных технологий для топливных элементов и электролизных установок, которые в настоящее время разрабатываются российскими производственными и научными организациями. Авторами сформулированы основные проблемы производства и широкого распространения топливных элементов и водородных технологий в России, в том числе для нужд судовой энергетике.

**Ключевые слова:** водород, водородная энергетика, топливные элементы, протонообменные мембраны, мембранно-электродный блок, производство, водный транспорт, СЭУ

## **Problems of production of marine power plants based on fuel cells in the Russian Federation**

**Ilya V. Rozov**  
**Sergey V. Titov**  
**Elena V. Chernykh**

*Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia*

**Abstract.** Hydrogen energy is currently considered by many countries as a promising solution to reduce the carbon footprint and includes technologies such as: the production, use, storage, transportation of hydrogen, the production of fuel cells, etc. The article shows the relevance of introducing hydrogen energy as one of the most promising areas for the transition to a decarbonized economy throughout the world. The prospects of using low-temperature hydrogen fuel cells with a proton-exchange membrane as the most efficient and environmentally friendly energy sources for water and other types of transport, which do not require initial heating to operating temperature, are distinguished by fast start-up and reliability, are substantiated. The arrangement and principle of operation of the fuel cell, its main components and their functions are described. The experience of some Russian organizations performing research in terms of improving the characteristics of proton-exchange membranes and gas diffusion layers is presented. A list of domestic membrane

technologies for fuel cells and electrolysis plants, which are currently being developed by Russian industrial and scientific organizations, is given. The authors formulated the main problems of production and wide distribution of fuel cells and hydrogen technologies in Russia, including those for the needs of ship power engineering.

**Keywords:** hydrogen, hydrogen energy, fuel cells, proton-exchange membranes, membrane electrode assembly, production, water transport, ship power plants

### **Введение**

Многие страны в настоящее время рассматривают водородную энергетику в качестве ключевого направления на пути к углеродной нейтральности. Водородная энергетика включает в себя следующие технологии: использование, хранение и транспортировка водородного топлива; производство топливных элементов (ТЭ) и энергетических установок на их основе; масштабное производство водорода из ископаемых и возобновляемых источников энергии.

Согласно данным Международной морской организации, 90 % мирового товарооборота проходит по морским путям. Загрязнение атмосферного воздуха происходит преимущественно отработавшими газами судовых энергетических установок. По некоторым данным, большинство судов используют тяжёлые фракции топлива, которые содержат в 3500 раз больше серы, чем обычное дизельное топливо. Водный транспорт является источником примерно 3 % глобальных выбросов парниковых газов. В 2018 году на морское судоходство отвелось около 23 % выбросов углекислого газа, а уже к 2030 году этот показатель может возрасти до 57 %. Кроме того, мелкодисперсная пыль, образованная во время выбросов с судов, оказывает самое большое негативное влияние на окружающую среду по сравнению с другими составляющими судовых выбросов. Предполагается, что более 570 тыс. преждевременных смертей с 2020 по 2025 годы в мире может быть связано с загрязнением воздуха судами. Таким образом, роль водного транспорта в обезуглероживании транспортной отрасли крайне высока [1, 2].

Разработкой и производством топливных элементов с твёрдым полимерным электролитом в мире занимается множество компаний, например: Plug Power (США), UTC Power (США), Ballard Power Systems (Канада), Siemens (Германия). Среди российских компаний, занимающихся исследованиями и разработками ТПТЭ, можно выделить ЦНИИ СЭТ, ООО «ИнЭнерджи», ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» и ряд других организаций.

Низкотемпературные водородные топливные элементы с твёрдым полимерным электролитом (ТПТЭ) считаются одними из наиболее перспективных и экологически чистых источников энергии для водного и других видов транспорта. Информация об использовании топливных элементов на водном транспорте представлена в работе [2], где приведены известные проекты водородных судов. ТПТЭ способны работать при температурах до 80 °С, обладают быстрым запуском, динамичностью отклика и востребованы в таких областях, как транспорт, стационарные энергетические установки и резервные системы, портативные приложения. В России их широкое распространение сдерживается множеством факторов: высокая стоимость вырабатываемой электроэнергии, отсутствие эффективных материалов, недостаточный ресурс ТЭ и т.д. Одной из главных проблем внедрения и развития водородной энергетики и ТЭ в России является отсутствие производства протонообменных мембран. Этому предшествует и отсутствие сырья для их изготовления. Наиболее важными компонентами для рынка ТЭ также являются биполярные пластины и мембранно-электродные блоки.

### Устройство и принцип работы топливного элемента

Топливный элемент – это химический источник тока, в котором в результате прямой химической реакции между окислителем (кислородом) и восстановителем (например, водородом, метанолом, природным газом) образуется электрический ток. В отличие от ДВС топливные элементы не сжигают топливо. При использовании водорода в качестве топлива единственными продуктами реакции являются чистая вода и тепло. КПД выпускаемых топливных элементов составляет более 60 %, а в некоторых случаях достигает 85 %.

Топливный элемент состоит из электролита, расположенного между двумя электродами (анодом и катодом). На анод непрерывно поступает углеводородное или водородное топливо, а на катод – кислород. В ТЭ с протонообменной мембраной электролитом является твёрдая полимерная мембрана, которая, при увлажнении водой, приобретает протонообменные свойства. Протоны диффундируют через мембрану, а электроны проходят через внешнюю цепь, генерируя электрический ток. Принцип работы топливного элемента показан на рисунке 1.

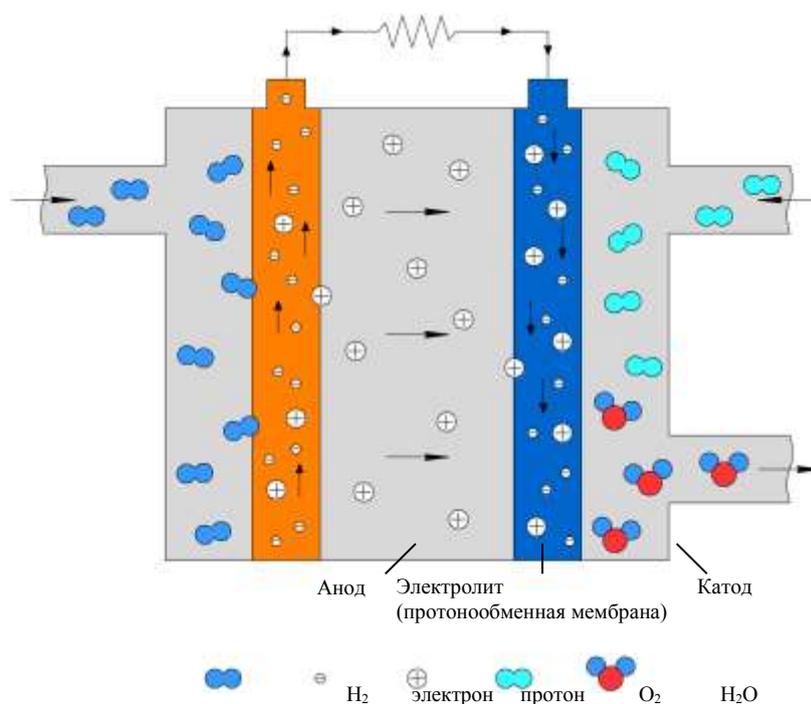


Рис. 1. Принцип работы топливного элемента

### Мембранно-электродный блок топливного элемента

Мембранно-электродный блок (МЭБ) является основным компонентом топливного элемента, который, как правило, состоит из протонообменной мембраны, катализатора, двух электродов и газодиффузионных слоёв (ГДС).

Старение (деградация) МЭБ связано с общими электрохимическими процессами: электрохимическое и химическое окисление углеродных и металлических компонентов электрода, рекристаллизация металлов, вращение металлических дендритов в протонпроводящую мембрану, нарушение целостности мембраны вследствие химических и электрохимических окислительно-восстановительных процессов. Срок службы современных МЭБ составляет порядка 5 тыс. часов при потерях напряжения около 10 % от первоначального [3].

**Протонообменная мембрана (ПОМ)** – это ключевой элемент МЭБ, который представляет собой полупроницаемую пленку, изготовленную из полимерного материала. Наиболее распространенным и коммерчески доступным материалом ПОМ является полимер перфторсульфоновой кислоты Nafion. Мембрана разделяет электроды во избежание их прямого электрического контакта, а также препятствует смешиванию реагентов (водорода и кислорода), приводящему к образованию взрывоопасной смеси. Основная функция ПОМ заключается в переносе протонов (ионов водорода) от анода к катоду. При контакте с водой мембрана набухает, происходит диссоциация ионогенных групп, что позволяет протонам двигаться в объеме полимера от одного электрода к другому.

В водородных ТЭ часто используются перфторированные сульфокатионитовые мембраны Nafion (DuPont, США), мембраны Flemion (Asahi Glass, Япония), Arkema M43 (Arkema, Франция), Aquivion (Solway, Бельгия) и др. В России существует их аналог – МФ-4СК производства ОАО «Пластполимер».

Мембраны такого типа обладают высокой протонной проводимостью, хорошими прочностными характеристиками, механической и термической стабильностью. Среди недостатков можно отметить снижение протонной проводимости в условиях пониженной влажности, высокую проницаемость по топливу (водород и метанол) и высокую стоимость мембран [4].

К основным требованиям, предъявляемым к мембране для обеспечения удовлетворительных вольтамперных и ресурсных характеристик МЭБ, относятся: высокая протонная проводимость; отсутствие электронной проводимости; долговременная механическая и химическая стабильность; низкая проницаемость для газовых реагентов.

Как правило, увеличение протонной проводимости при допировании мембраны связывают с увеличением количества подвижных протонов, лучшим удержанием воды и связыванием её частицами гидрофильных кластеров при низком влагосодержании. Многократные исследования «самоувлажняемых» мембран показывают, что введение платины в матрицу мембраны способствует поддержанию их влагосодержания, повышению протонной проводимости и уменьшению сквозного переноса водорода, метанола и кислорода [4].

В настоящее время исследования в области низкотемпературных водородных ТЭ в большей степени направлены на усовершенствование компонентов МЭБ – протонообменных мембран и каталитических слоёв [5].

ОАО «Пластполимер» было проведено исследование структурных и электротранспортных свойств модифицированных мембран на перфторированной матрице. В качестве объектов исследования были использованы перфторированные сульфокатионитовые мембраны МФ-4СК, изготовленные методом полива. Мембрана МФ-4СК представляет собой гомогенную плёнку шириной до 300 мм, толщиной 0,05-0,30 мм, эквивалентной массой 900-1300, которая используется в ТПТЭ, электролизёрах, а также используется для очистки агрессивных водных растворов электрохимическим способом. В мембраны были включены специальные модификаторы органической природы, составляющие 5 % от веса мембранного полимера: поливинилбутираль (гидрогель, способный удерживать воду в структуре мембраны) и сульфированный полисульфон (ионообменник). В качестве минерального допанта использовался кислый фосфат циркония. Исследовались также мембраны МФ-4СК с содержанием инертного фторполимера Ф-26 от 10 % до 40 %. Выявлено, что введение органических модификаторов приводит к уменьшению удельной электропроводности мембран во всей области исследуемых концентраций, в то время как введение кислого фосфата циркония повышает электропроводность и понижает диффузионную проницаемость [6, 7].

Улучшением свойств мембран для топливных элементов также занимается Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН. В работе [8]

описано модифицирование катионообменных гомогенных мембран Nafion-117, гетерогенных мембран МФК оксидом церия, образцы которых были испытаны в составе водород-воздушного топливного элемента. Максимальные показатели эффективности ТЭ для МЭБ с мембраной Nafion-117 и МЭБ с модифицированной мембраной составили 233 и 276 мВт/см<sup>2</sup> при 25 °С и 287 и 433 мВт/см<sup>2</sup> при 60 °С соответственно. Установлено, что введение функционализированного оксида церия в мембрану Nafion-117 увеличивает проводимость при 30 % относительной влажности ряда образцов и снижает газопроницаемость на 10-20 %. В модифицированных мембранах МФК наблюдалось увеличение селективности и, при обработке их серной кислотой, – увеличение проводимости.

В России на сегодняшний день находится более 100 научных и производственных организаций, обладающих компетенциями в сфере водородной промышленности. Для развития этой перспективной отрасли в России ведётся активное импортозамещение, осуществляется научное взаимодействие между научными организациями, машиностроителями и потребителями высокотехнологичной продукции [9].

В 2023 году Сибирский государственный университет водного транспорта (СГУВТ) приступил к выполнению НИОКР по теме «Водородная энергетика на водном транспорте, разработка систем хранения и использования новых экологичных видов топлива». В рамках реализации данной работы между СГУВТ и Институтом катализа им. Г.К. Борескова СО РАН было заключено соглашение, направленное на совместную работу по разработке компонентов энергоустановок на основе протонообменных мембранных топливных элементов, твердооксидных топливных элементов и инфраструктуры для хранения и использования водорода в качестве топлива (водородных заправок), разработке технологий хранения водорода на основе жидких органических носителей, а также проведение других совместных мероприятий для осуществления внедрения полученных результатов в области водородных технологий для использования на водном транспорте.

В Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН 5 мая 2023 года состоялась рабочая встреча с представителями СГУВТ, в ходе которой были обсуждены следующие формы научного сотрудничества в сфере водородной энергетики и защиты окружающей среды на транспорте: использование низкоуглеродных видов топлива на транспорте; разработка систем хранения и использования водородного топлива; защита от водородной коррозии элементов электрохимических генераторов; технология производства протонообменных мембран; применение мембран при разработке технологии защиты окружающей среды. Итогом встречи стало подписание соглашения о научном сотрудничестве.

Учёные Московского физико-технического института (МФТИ) в настоящее время занимаются разработкой перфторированных полимерных мембран. По словам руководителя лаборатории технологии ионообменных мембран МФТИ, за первый год реализации проекта уже разработаны решения о получении суспензий перфторированных полимеров и мембран на их основе методом полива. Разработчики предполагают, что технология позволит производить экономичные отечественные мембраны для топливных элементов. В будущем учёные планируют добиться увеличения прочности мембран за счёт включения наноразмерных добавок, что позволит избежать потери ионной проводимости [10].

Перечень отечественных мембранных технологий для топливных элементов и электролизных установок, которые в настоящее время разрабатываются российскими производственными и научными организациями, представлен в таблице 1 [9].

Таблица 1

**Отечественные мембранные технологии для топливных элементов и электролизных установок**

Организация	Технология	Дополнительная информация
АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», г. Москва	Протонпроводящая мембрана с использованием трековых технологий для низкотемпературных полимерных топливных элементов и электролизных установок.  Протонная проводимость – 0,01 См/см; Влагопоглощение – менее 10%; Рабочая температура – 110 °С.	Ведется разработка мембраны.
ФГБУН ИХТТМ СО РАН, Новосибирская область	Среднетемпературные протонообменные мембраны для топливных элементов и электролизеров.	Ведется разработка мембраны.
АО «РНЦ «Прикладная Химия (ГИПХ)», г. Санкт-Петербург	Протонопроводящие мембраны для электролизеров и топливных элементов.	Ведется разработка мембран толщиной от 100 до 250 мкм.
ФГБУН ИНЭОС РАН, г. Москва	Высокотемпературная протонообменная мембрана.	Ведется разработка мембраны.
ФГАОУ ВО Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет, Томская область	Радиационная технология формирования протонопроводящих мембран для водородных топливных элементов.	Ведется разработка технологии.
ООО «Краснодарский Компрессорный Завод», Краснодарский край	Протонообменная мембрана для электролизеров и топливных элементов.	Ведется разработка мембраны.
ФГБУН ИНЭОС РАН, г. Москва	Методика синтеза высокофторированных мономеров для протонпроводящих мембран топливных элементов и электролизных установок.	Ведется разработка мембраны.
ФГБУН Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, г. Москва	Технология прививания катионообменных мембран на основе полиметилпентена для топливных элементов.  Повышение проводимости и селективности. Протонная проводимость до 21 мСм/см при 25 °С, 95% влажность, числа переноса по катионам до 99%.	Создана технология прививания. Ведется работа по оптимизации процессов.
ФГБУН Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, г. Москва	Технология прививания анионообменных мембран на основе полиметилпентена для топливных элементов.  Повышение проводимости и селективности. Гидроксильная проводимость до 16 мСм/см при 25 °С, 95% влажность, числа переноса	Создана технология прививания. Ведется работа по оптимизации процессов.

Организация	Технология	Дополнительная информация
	по анионам до 96%.	
ФГБУН Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, г. Москва	Технология улучшения перфторированной мембраны Nafion для топливных элементов.  Повышенная проводимость при низкой влажности (67 мСм/см при 9% влажности при 25 °С), собственная каталитическая активность в ТЭ.	Создана технология улучшения. Ведется работа по оптимизации процессов.
ООО «Краснодарский Компрессорный Завод», Краснодарский край	Анионообменная мембрана для электролизеров и топливных элементов.	Ведется разработка мембраны.
ФГБУН ИПХФ РАН, Московская область	Технология модификации ионообменных мембран с использованием мономеров различного типа.	Создана технология увеличения влагосодержания мембран типа Nafion(R), что обеспечивает увеличение протонной проводимости в 2 раза при 15% отн. влажности. Ведется работа по дальнейшему повышению проводимости.

Для соединения между собой отдельных ячеек батарей топливных элементов используются **биполярные пластины**, которые имеют каналы для подвода газообразных реагентов к электродам и отвода продуктов реакции. Биполярные пластины должны обладать высокой удельной электро- и теплопроводностью, коррозионной стойкостью и термостойкостью при рабочих температурах топливного элемента, устойчивостью при большой влажности, химическим равновесием в присутствии реагентов, а также газонепроницаемостью.

На обеих поверхностях МЭБ располагается газодиффузионный слой – пористый слой, используемый для подвода газообразных реагентов по поверхности электрода. Подача реагентов осуществляется к каждому топливному элементу через каналы биполярной пластины с тыльной стороны пористых газодиффузионных электродов. Через биполярную пластину также происходит удаление образованной воды.

Отвод воды при работе ТЭ является необходимой задачей, поэтому ГДС подвергают гидрофобной обработке специальными добавками (например, фторопластом). Кроме того, многие ГДС имеют микропористый слой, который обычно состоит из композиции сажи и тефлона, позволяющий увеличить мощностные характеристики и стабильность ТЭ.

ГДС обычно используются на трёх возможных типах подложки: углеродная ткань, нетканый материал и углеродная бумага. Структура материала ГДС во многом определяет характеристики ТЭ. Известно, что тканые и нетканые углеродные ГДС обладают лучшими, по сравнению с другими структурами, удельными характеристиками и более эффективны при высокой влажности. Тем не менее, углеродная бумага является более дешёвым и жёстким материалом, что облегчает проектирование полей течения в биполярных пластинах. Несмотря на это, многие производители ТЭ (например, Freudenberg, Sigracet) используют ГДС на основе

нетканых материалов, которые являются достаточно дорогими, так как изготавливаются по более сложной технологии [11].

Конструкция МЭБ топливного элемента представлена на рисунке 2.

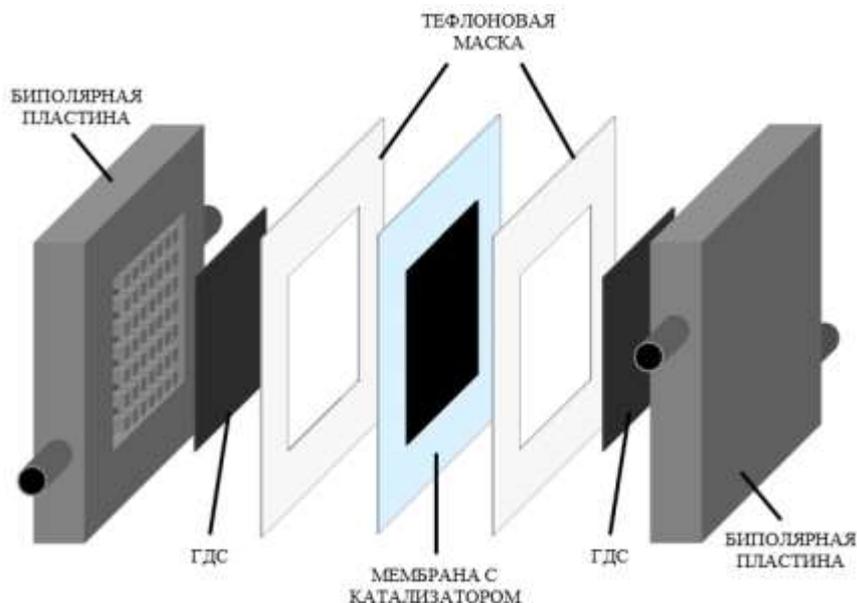


Рис. 2. Мембранно-электродный блок топливного элемента

Сравнение МЭБ с различными структурами, а именно с углеродным нетканым материалом и с углеродным картоном на аноде описано в работе [11]. В результате проведённого исследования обнаружено, что при практически равных активационных и диффузионных потерях резистивные потери у образца на основе углеродной бумаги немного ниже, а удельное сопротивление ниже в три раза ( $3 \text{ мОм}\cdot\text{см}^2$  по сравнению с  $9 \text{ мОм}\cdot\text{см}^2$  у образца с углеродным нетканым материалом). Максимальные значения плотности мощности в пике следующие:  $167 \text{ мВт}/\text{см}^2$  у МЭБ с углеродной бумагой и  $157 \text{ мВт}/\text{см}^2$  у МЭБ с нетканым материалом. Следует отметить, что данный эксперимент был проведён при оптимальных условиях эксплуатации, которые могут существенно отличаться от реальных.

В работе [12] представлены результаты разработки четырёх типов ГДС для топливных элементов, используемых в энергетических установках, с двухслойной конструкцией, разработанные с целью получения лучших, по сравнению с аналогами, характеристик: меньшей толщины, большей жесткости на изгиб, более низкими остаточными деформацией и сжимаемостью. Для изготовления ГДС применялись активированный уголь и одностенные нанотрубки Tuball. Электроды были изготовлены методом каландрирования, который позволяет получать электроды больших толщин, благодаря чему уменьшается сопротивление.

### **Проблемы производства и внедрения топливных элементов и водородных технологий в России**

В январе 2023 года между Правительством РФ, ГК «Росатом» и ПАО «Газпром» было подписано соглашение о реализации новой «дорожной карты» развития водородной энергетики на период до 2030 года (взамен предыдущей до 2024 года), которая стала единым документом развития отрасли. На развитие водородной

энергетики Правительство РФ также планирует выделить 9,3 млрд. рублей на период до 2024 года [13].

На отечественную водородную отрасль, как и на многие другие отрасли экономики, огромное влияние оказывает напряжённая геополитическая ситуация. Если до 2022 года государственная стратегия была ориентирована на производство и экспорт водорода, полученного из природного газа, электролизом, а также с использованием АЭС, то сейчас она перенаправляется на интересы внутреннего рынка.

Очевидно, что напряжённая обстановка в мире, в том числе введенные в отношении России санкции, сдерживают развитие рынка водородных технологий. Ситуация вынуждает сдвигать сроки реализации запланированных проектов. Так, например, городской автобус на водородном топливе, который президент В.В. Путин в конце 2020 года поручил создать к 2023 году, оказался очень дорогим (оценочная стоимость 90 млн. руб. по сравнению с 64 млн. руб. за электробус) и ещё не готовым к массовым испытаниям ввиду санкций, отсутствия водородных заправочных станций (ВЗС) и других проблем. В то же время в Москве планируется поставка более тысячи электробусов в 2023-2024 гг. [14].

Без водородной инфраструктуры невозможно развитие водородного транспорта и наоборот. Оба направления требуют вложений. По данным исследовательской компании Information Trends [15], количество ВЗС в мире составляет более 1000 штук. Из них только на Китай приходится примерно 1/3, на Японию – около 200, на США – менее 100. В России в настоящее время нет ни одной водородной заправочной станции. Вследствие глобального потепления, перехода на альтернативные и возобновляемые источники энергии спрос на водородные транспортные средства только растёт, поэтому инвестировать в ВЗС необходимо на перспективу.

Если ранее российским компаниям было выгоднее закупать топливные элементы и комплектующие к ним из-за рубежа, то сейчас санкционное давление сильно ограничивает эту возможность. Именно поэтому отечественные производители переходят на импортозамещение важных компонентов топливных элементов: протонообменных мембран, газодиффузионных слоёв, биполярных пластин. Важно понимать, что переход на отечественную продукцию потребует немало времени, к тому же существует проблема нехватки квалифицированных кадров, прежде всего, в области электрохимии.

Сдерживающим фактором широкого распространения топливных элементов на водном транспорте являются инвестиционные и эксплуатационные затраты. Топливные элементы в процессе работы СЭУ изнашиваются, вследствие чего возникают дополнительные экономические расходы. По некоторым оценкам, такие расходы составляют от 50 до 60 % капитальных затрат на ТЭ. Немаловажными также считаются проблемы, связанные с безопасным использованием, хранением и транспортировкой водородного топлива на борту судна. Конкретных требований к видам топлива и технологиям в настоящее время нет, они не включены в «Международный кодекс по безопасности для судов, использующих газы или иные виды топлива с низкой температурой вспышки (Кодекс МГТ)». Поэтому для того, чтобы сделать водородные системы такими же безопасными, как, например, системы на природном газе, потребуется немало времени и вложений [16].

### **Заключение**

Водородные технологии могут сыграть важную роль в решении проблем выбросов вредных веществ на воде. Водород и топливные элементы являются перспективным и надёжным решением, способным удовлетворить будущие требования по выбросам и обеспечивающим переход отрасли на безуглеродное использование энергии.

К сожалению, в настоящее время судостроительная отрасль в России находится на начальном этапе внедрения СЭУ на базе топливных элементов. В первую очередь это связано с геополитической обстановкой и переориентацией на внутренний рынок страны, требующей от российских производителей создания отечественных водородных технологий. Производство и широкое распространение низкотемпературных топливных элементов с протонообменной мембраной в России сдерживается отсутствием внутреннего рынка ключевых компонентов ТЭ, преимущественно протонпроводящих мембран, газодиффузионных слоёв, биполярных пластин, а также отсутствием водородной инфраструктуры. Проблема здесь также заключается в большом количестве времени, которое должно быть затрачено на импортозамещение, и в нехватке высококвалифицированных кадров в области водородной энергетики. Для решения всех описанных в статье проблем должны быть приложены большие усилия, направленные, прежде всего, на создание в России предприятий, производящих протонообменные мембраны и химическое сырьё для их производства, а также на введение в образовательные стандарты технических вузов соответствующих компетенций.

#### Список литературы

1. Скаридов А.С. «Зеленое судоходство» и проблема устойчивого использования морского транспорта // *Международное право и международные организации*. 2021. №1. С. 31-45. DOI: 10.7256/2454-0633.2021.1.35070.
2. Розов И.В., Титов С.В. Возможности широкого применения водородных топливных элементов на водном транспорте // *Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока*. 2023. № 1. С. 113-119.
3. Glebova N.V., Mazur A.S., Krasnova A.O., Pleshakov I.V., Nechitailov A.A. Investigation of stability of composite Nafion/nanocarbon material // *Наносистемы: физика, химия, математика*. 2023. Т. 14. №. 2. С. 202-207. DOI 10.17586/2220-8054-2023-14-2-202-207.
4. Каюмов Р.Р., Сангинов Е.А., Золотухина Е.В., Герасимова Е.В., Букун Н.Г., Укше А.Е., Добровольский Ю.А. «Самоувлажняемые» нанокомпозитные мембраны Nafion/Pt для низкотемпературных твердополимерных топливных элементов // *Альтернативная энергетика и экология*. 2013. №. 13 (135). С. 40-48.
5. Кудашова Д.С., Кононенко Н.А., Бровкина М.А., Фалина И.В. Изучение деградации перфторированной мембраны в процессе работы в водородном топливном элементе // *Мембраны и мембранные технологии*. 2022. Т. 12. № 1. С. 29-37. DOI: 10.1134/S2218117222010059.
6. Отдел политетрафторэтилена и перфторированных ионообменных мембран // *ОАО Пластполимер*. URL: <http://www.plastpolymer.com/structure/otdel-politetrafortjetilena-i-perftorirovannyh-ionoobmennyyh-membran/> (дата обращения: 12.06.2023).
7. Кононенко Н.А., Лоза Н.В., Шкирская С.А., Тимофеев С.В. Электротранспортные и структурные свойства модифицированных протонообменных мембран // *МЕМБРАНЫ-2022. XV Юбилейная всероссийская научная конференция (с международным участием): тезисы докладов*. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2022. С. 108-110.
8. Юрова П.А., Стенина И.А., Ярославцев А.Б. Мембранные материалы на основе катионообменных мембран и оксида церия с функционализированной поверхностью // *МЕМБРАНЫ-2022. XV Юбилейная всероссийская научная конференция (с международным участием): тезисы докладов*. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2022. С. 128-130.
9. Российские компетенции водородной промышленности // *Минпромторг России*. URL: <https://minpromtorg.gov.ru/docs/5d77b582-6423-40b9-b33f-406f50994aba> (дата обращения: 12.06.2023).
10. Мембраны для водородных двигателей будут производить в России // *Научная Россия*. URL: <https://scientificrussia.ru/articles/membrany-dla-vodorodnyh-dvigatlej-budut-proizvodit-v-rossii> (дата обращения: 12.06.2023).
11. Федотов А.А., Тарасенко А.Б., Каранова Д.А. Влияние структуры анодного газодиффузионного слоя на характеристики топливного элемента // *Энергосбережение – теория и практика: Труды Десятой Международной школы-семинара молодых*

- ученых и специалистов (Москва, 19–23 октября 2020 г.) – Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2020. С. 282-284.
12. Киселева Е.А., Василенко А.А. Газодиффузионные слои из функциональных углеродных материалов для топливных элементов, используемых в энергетических установках // Завалишинские чтения 18 : сборник докладов, Санкт-Петербург, 16–20 апреля 2018 года / Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2018. С. 240-243.
  13. На водородную энергетику в России выделяют 9 млрд рублей до 2024 года // Интерфакс. URL: <https://www.interfax.ru/business/885918> (дата обращения: 12.06.2023).
  14. Путин поставил задачу к 2023 году. Почему на улицы Москвы не выехали водоробусы и ждать ли их в будущем // MSK1.RU. URL: <https://msk1.ru/text/transport/2023/05/06/72281036/> (дата обращения: 12.06.2023).
  15. Hydrogen Station Deployments Surpass 1,000 With China Leading the Way // INFORMATION TRENDS. URL: <https://informationtrends.com/global-market-for-hydrogen-fueling-stations-2023/press-release.php> (дата обращения: 12.06.2023).
  16. Живлюк Г.Е., Петров А.П. Применение топливных элементов в энергообеспечении водного транспорта // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2022. Т. 14. №. 1. С. 104-119. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-104-119.

#### References

1. Skaridov A.S. «Zelenoe sudokhodstvo» i problema ustoichivogo ispol'zovaniya morskogo transporta [“Green shipping” and the problem of sustainable use of maritime transport]. International Law and International Organizations. 2021. No. 1. P. 31-45. DOI: 10.7256/2454-0633.2021.1.35070.
2. Rozov I.V., Titov S.V. Possibilities of wide application of hydrogen fuel cells in water transport // Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2023. No. 1. P. 113-119.
3. Glebova N.V., Mazur A.S., Krasnova A.O., Pleshakov I.V., Nechitailov A.A. Investigation of stability of composite Nafion/nanocarbon material // Nanosystems: Phys. Chem. Math. 2023. Vol. 14. No. 2. P. 202-207. DOI 10.17586/2220-8054-2023-14-2-202-207.
4. Kayumov R.R., Sanginov E.A., Zolotukhina E.V., Gerasimova E.V., Bukun N.G., Ukshe A.E., Dobrovolsky Yu.A. Self-humidifying Platinum-Nafion nanocomposite membranes for low temperature polymer exchange membrane fuel cells // Alternative Energy and Ecology. 2013. No. 13 (135). P. 40-48.
5. Kudashova D.S., Kononenko N.A., Brovkina M.A., Falina I.V. Study of Perfluorinated Membrane Degradation During Operation in Proton Exchange Membrane Fuel Cell // Membrany i membrannye tekhnologii. 2022. Vol. 12. No. 1. P. 29-37. DOI: 10.1134/S2218117222010059.
6. Otdel politetraforetilena i perflorirovannykh ionoobmennykh membran [Department of polytetrafluoroethylene and perfluorinated ion-exchange membranes] // OAO Plastpolimer. URL: <http://www.plastpolymer.com/structure/otdel-politetraforjetilena-i-perflorirovannykh-ionoobmennykh-membran/> (accessed 12.06.2023).
7. Kononenko N.A., Loza N.V., Shkirskaya S.A., Timofeev S.V. Ehlektrotransportnye i strukturnye svoystva modifitsirovannykh protonoobmennykh membran [Electrotransport and structural properties of modified proton exchange membranes] // MEMBRANY-2022 [MEMBRANES-2022]. XV Yubileinaya vserossiiskaya nauchnaya konferentsiya (s mezhdunarodnym uchastiem): tezisy докладов. Moscow: D. Mendeleev University, MUCTR. 2022. P. 108-110.
8. Yurova P.A., Stenina I.A., Yaroslavtsev A.B. Membrannye materialy na osnove kationoobmennykh membran i oksida tseriya s funktsionalizirovannoi poverkhnost'yu [Membrane materials based on cation-exchange membranes and cerium oxide with a functionalized surface] // MEMBRANY-2022 [MEMBRANES-2022]. XV Yubileinaya vserossiiskaya nauchnaya konferentsiya (s mezhdunarodnym uchastiem): tezisy докладов. Moscow: D. Mendeleev University, MUCTR. 2022. P. 128-130.
9. Rossiiskie kompetentsii vodorodnoi promyshlennosti [Russian competencies of the hydrogen industry] // Minpromtorg Rossii [Ministry of Industry and Trade of the Russian

- Federation]. URL: <https://minpromtorg.gov.ru/docs/5d77b582-6423-40b9-b33f-406f50994aba> (accessed 12.06.2023).
10. Membrany dlya vodorodnykh dvigatelei budut proizvodit' v Rossii [Membranes for hydrogen engines will be produced in Russia] // Nauchnaya Rossiya [Scientific Russia]. URL: <https://scientificrussia.ru/articles/membrany-dla-vodorodnyh-dvigatelej-budut-proizvodit-v-rossii> (accessed 12.06.2023).
  11. Fedotov A.A., Tarasenko A.B., Karanova D.A. Vliyanie struktury anodnogo gazodiffuzionnogo sloya na kharakteristiki toplivnogo ehlementa [Influence of the Structure of the Anode Gas Diffusion Layer on the Characteristics of a Fuel Cell] // Ehnergoberezhenie – teoriya i praktika: Trudy Desyatoi Mezhdunarodnoi shkoly-seminara molodykh uchenykh i spetsialistov (Moskva, 19–23 oktyabrya 2020 g.) – Kursk: Izd-vo ZAO «Universitetskaya kniga». 2020. P. 282-284.
  12. Kiseleva E.A., Vasilenko A.A. Gazodiffusion layers from functional carbon materials for fuel elements used in energy installations // Zavalishinskie chteniya 18 : sbornik dokladov, Sankt-Peterburg, 16–20 aprelya 2018 goda / Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi universitet aehrokosmicheskogo priborostroeniya. Spb: State University of Aerospace Instrumentation. 2018. P. 240-243.
  13. Na vodorodnuyu ehnergetiku v Rossii vydelyat 9 mlrd rublei do 2024 goda [9 billion rubles will be allocated for hydrogen energy in Russia until 2024] // Интерфакс [Interfax]. URL: <https://www.interfax.ru/business/885918> (accessed 12.06.2023).
  14. Putin postavil zadachu k 2023 godu. Pochemu na ulitsy Moskvy ne vyekhali vodorobusy i zhdat' li ikh v budushchem [Putin set a target by 2023. Why hydrogen buses did not take to the streets of Moscow and whether to expect them in the future] // MSK1.RU. URL: <https://msk1.ru/text/transport/2023/05/06/72281036/> (accessed 12.06.2023).
  15. Hydrogen Station Deployments Surpass 1,000 With China Leading the Way // INFORMATION TRENDS. URL: <https://informationtrends.com/global-market-for-hydrogen-fueling-stations-2023/press-release.php> (accessed 12.06.2023).
  16. Zhivljuk G.E., Petrov A.P. The use of fuel cells in the energy supply of water transport // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. 2022. Vol. 14. No. 1. P. 104-119. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-104-119.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Розов Илья Владимирович**, аспирант, специалист научно-исследовательской службы, Сибирский государственный университет водного транспорта, 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: [ilya\\_rozov@mail.ru](mailto:ilya_rozov@mail.ru)

**Ilya V. Rozov**, postgraduate student, Specialist of the Research Service, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: [ilya\\_rozov@mail.ru](mailto:ilya_rozov@mail.ru)

**Титов Сергей Владиленович**, д.т.н., доцент кафедры Судовых энергетических установок, начальник научно-исследовательской службы, Сибирский государственный университет водного транспорта, 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: [scom@ngs.ru](mailto:scom@ngs.ru)

**Sergey V. Titov**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Marine Power Plants Department, Head of the Research Service, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: [scom@ngs.ru](mailto:scom@ngs.ru)

**Черных Елена Викторовна**, экономист научно-исследовательской службы, Сибирский государственный университет водного транспорта, 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: [shvorneva.lena@bk.ru](mailto:shvorneva.lena@bk.ru)

**Chernykh Elena Viktorovna**, Economist of the Research Service, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: [shvorneva.lena@bk.ru](mailto:shvorneva.lena@bk.ru)

Статья поступила в редакцию 20.06.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 20.06.2023; published online 20.09.2023.

## **ЭКОНОМИКА, ЛОГИСТИКА И МЕНЕДЖМЕНТ НА ТРАНСПОРТЕ**

### **ECONOMICS, LOGISTICS AND TRANSPORT MANAGEMENT**

УДК 332.1

DOI: 10.37890/jwt.vi76.397

#### **Мировой рынок судостроения: тенденции и перспективы развития**

**Е.А. Заостровских**

*ORCID: 0000-0002-7447-0406*

*Институт экономических исследований ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия*

**Аннотация:** Целью данной статьи является краткий анализ мирового коммерческого судостроения, в частности его роста, тенденций и перспектив развития. Характерные особенности мировой судостроительной отрасли исследуются на основе данных о портфеле заказов, объёме инвестиций, отмене заказов, экологических требований к судоходству и т.д. Выявлено, что судостроительная промышленность находится на пороге нового суперцикла, но влияние серии факторов (скачок фрахтовых ставок, продолжающиеся сбои в цепочке поставок, рост цен на энергоносители и сырьевые товары, геополитическая нестабильность, а также неопределённость в отношении выбора топлива и технологий) позволяют предположить, что новый этап судостроения начнётся после 2025 года.

**Ключевые слова:** коммерческое судостроение, новый цикл судостроения, мировой портфель заказов.

#### **Global shipbuilding market: trends and development prospects**

**Elena. A. Zaostrovskikh**

*ORCID: 0000-0002-7447-0406*

*Economic Research Institute FEB RAS, Khabarovsk, Russia*

**Abstract.** The purpose of this article is a brief analysis of the global commercial shipbuilding, in particular its growth, trends and development prospects. The characteristic features of the global shipbuilding industry are investigated on the basis of data on the order portfolio, investment volume, cancellation of orders, environmental requirements for shipping, etc. It has been revealed that the shipbuilding industry is on the threshold of a new supercycle, but the influence of a series of factors (a jump in freight rates, ongoing disruptions in the supply chain, rising prices for energy and raw materials, geopolitical instability, as well as uncertainty about the choice of fuel and technology) suggest that a new stage of shipbuilding will begin after 2025.

**Keywords.** commercial shipbuilding, new shipbuilding cycle, global order portfolio

#### **Введение**

Судостроение скорее является глобальной, чем локальной отраслью. Оно состоит из двух основных сегментов: военно-морского и коммерческого, где в первом доминируют Россия, США, Китай, европейские страны, Индия, во втором – Китай, Япония, Корея и европейские страны. Хотя коммерческое судостроение считается одним из старейших и наиболее высококонкурентных рынков в мире, имея огромный

опыт выживания в период пиков и спадов экономики [1], нынешний глобальный экономический кризис сильнее всего ударил по судостроению. Вместе с тем считается, что мировое судостроение находится на пороге нового суперцикла [2; 3], который был вызван не только новым экономическим бумом в Китае, как это наблюдалось в 2000-х гг., но и повторением бума судоходства, который имел место в период с 2003-2008 гг., когда было заключено рекордное число контрактов на строительство судов.

Попытаемся понять, действительно ли надвигается новый суперцикл в мировом судостроении или существуют некоторые сложности, которые способны «отодвинуть» новый этап судостроения на несколько лет вперед?

### Материалы и методы исследования

Методологической основой исследования явились общенаучные методы, такие как формализация, группировка, анализ, синтез и сравнение. Исследование выполнено на основе данных «Рынки судоходства и судостроения» («Shipping and Shipbuilding Markets») и «Обзор морского транспорта» («Review of Maritime Transport») за 2009-2022 гг. В качестве параметров исследованы основные показатели судостроения: портфель заказов, действующий мировой флот, объем инвестиций, фрахтовые ставки и т.д.

### Результаты исследования

По данным Мирового Валютного Фонда, в 2022 г. глобальная экономическая активность в целом замедлилась, а инфляция достигла уровней, невиданных в течение нескольких десятилетий. Сохраняющиеся последствия пандемии Covid-19, включая регулярные локальные карантинные меры в Китае, а также санкционные войны – всё это оказало тяжелое влияние на глобальный макроэкономический фон. Соответственно, после глубокой рецессии 2020 г. (-3%) и впечатляющего восстановления в 2021 г. (6%) глобальный экономический рост замедлился в 2022 г. до уровня 3,2%, *рис. 1.*



Рис. 1. Темпы прироста (сокращения) мирового ВВП, объема перевозок грузов, морским транспортом, морского флота (% к предыдущему году)  
Источник: BRS GROUP; UNCTAD

К сожалению, это оказало негативное влияние на морские перевозки: в 2020 г. их рост снизился до -3,3%, в 2021 г. увеличился на равную величину 3,3%, а в 2022 г. – снизился до отметки 0,9%, *рис. 1.* При этом если в 2021 г. изменения произошли в результате продолжающихся сбоев в цепочках поставок, предшествовавших Covid-19, то в 2022 г. произошло противоположное явление – заторы в морских портах исчезли, а объемы перевозок резко упали на фоне стремительного роста инфляции и связанного с этим экономического спада.

**Портфель заказов**

В целом считается, что нынешнее время – это период контрастов для судостроительной отрасли.

В 2021 г. было оформлено рекордное число заказов на строительство – 132,3 млн т дедвейта<sup>1</sup> (или 1765 единиц судов), что является первым по величине показателем за исследуемый период, *табл. 1*. Это позволило верфям по всему миру забронировать большую часть своих мест на 2022-2024 гг. Но уже 2022 г. в меньшей степени продолжил положительную динамику 2021 г. и показатели, соответственно, снизились до уровня 88,9 млн т (или 1447 единиц судов), размещённых новых заказов, что было немного выше объёма поставок (78,5 млн т в год). Однако прошлогодние заказы помогли продлить срок ввода верфей в эксплуатацию вплоть до 2025 г, тем самым сохранив трёхлетний горизонт, за пределами которого как судовладельцам, так и судостроителям невыгодно брать на себя обязательства.

*Таблица 1*

**Динамика основных параметров рынка мирового коммерческого судостроения**  
(Источник: BRS GROUP; UNCTAD)

Год	Заказы на строительство судов		Поставка новых судов		Портфель заказов		Действующий флот	
	кол-во судов	млн т дедвейт	кол-во судов	млн т дедвейт	кол-во судов	млн т дедвейт	кол-во судов	млн т дедвейт
2009	1600	125,0	3658	132,0	7680	322,0	37836	1192
2010	1128	129,9	3748	149,9	6102	236,0	38412	1276
2011	1170	79,0	<i>н/д</i>	162,4	5127	271,0	45662	1395
2012	938	46,7	<i>н/д</i>	152,5	3766	146,5	46327	1536
2013	2114	99,7	<i>н/д</i>	107,3	3589	179,2	47122	1613
2014	1691	85,2	<i>н/д</i>	88,0	3825	177,1	42834	1691
2015	1537	107,7	1406	94,9	4013	290,2	37098	1689
2016	509	34,1	1389	98,7	2901	211,7	37635	1743
2017	1035	89,1	1307	96,1	2885	222,4	33939	1774
2018	1272	93,8	1151	79,2	3024	225,7	37588	1852
2019	1120	75,3	1284	96,3	2858	198,6	38992	1940
2020	859	70,6	1180	89,7	2534	180,4	39782	2061
2021	1765	132,3	1242	84,5	3131	223,4	40588	2072
2022	1447	88,9	1226	78,5	3622	240,9	40823	2141

*Примечание:* Чистый прирост совокупного дедвейта флота представляет собой разницу между общим дедвейтом спущенных на воду новых судов (поставка новых судов) и совокупным дедвейтом судов, списанных на слом, потерянных или выведенных из эксплуатации по другим причинам [4].

Основной вклад в скачок 2021 г. в 57 млн т внесли контейнеровозы, заказы на которые выросли с 12 млн т в 2020 г. до 51 млн т (+ 39 млн т). Это привело к тому, что данный сектор впервые в истории судостроения превысил заказы на балкеры и танкеры. Спрос на контейнеровозы был обусловлен тремя факторами – повышением спроса на контейнерные перевозки, общей необходимостью естественного обновления флота и сохраняющейся гигантоманией в результате расширения Панамского и Суэцкого каналов. Спрос на балкеры также был оживлённым, увеличившись с 30 млн т до 43 млн т (+ 13 млн т). В тоже время объём заказов на круизные лайнеры составил менее 7% по тоннажу, что связано с банкротством компаний, которые не смогли восстановиться после ковидного периода.

<sup>1</sup> Дедвейт (англ. Deadweight) – величина, равная сумме масс переменных грузов судна, измеряемая в тоннах, то есть сумма массы полезного груза.

Вместе с тем 2020 г. был третьим по величине низким показателем по заказам на строительство судов – 70,6 млн т дедвейта (или 859 ед. судов), что объяснялось растущим неравенством между ценами на новые суда и доходами от переработки грузов, геополитической нестабильности, неопределенности в отношении выбора топлива и технологий, а также ростом цен на энергоносители и сырьевые товары [5]. Тем не менее, 2020 г. знаменателен тем, что увеличились заказы на новые суда, оснащённые двухтопливными двигательными установками.

Три азиатских судостроительных гиганта (Китай, Р.Корея и Япония), на долю которых приходится 95% мирового объёма заказов по дедвейту, продолжили борьбу за долю рынка. Портфель заказов балкеров практически находится в руках двух стран: Китая и Японии, занимая 62,2% и 31,5% доли мирового рынка соответственно. Портфель заказов на танкеры находится в руках Кореи с долей рынка в 44,4% и Китаем – 30,2%. Портфель заказов контейнеровозов сосредоточен у Китая – 57,5%, Кореи – 33% и Японии – 11%.

Отражая дисбаланс между заказами на строительство судов и поставками новых судов, мировой портфель заказов увеличился с 223,4 млн т 2021 г. до 240,9 млн т в 2022 г., что составляет 11,3% от действующего парка. Таким образом, действующий мировой флот в 2022 г. составил 2141 млн т (40822 единицы).

### **Отмена заказов**

Количество отмен заказов в 2021 г. выросло до 4,7 млн т. Причиной отмены стали танкеры, на долю которых пришлось 38% от общего объёма перевозок, отменённых в 2021 г., против всего 6% в 2020 г. Частично это можно объяснить сложной ситуацией на рынке танкеров, которая сохраняется с середины 2020 г. При этом более половины аннулированных танкеров содержались в одном заказе корейской компании «Everest Korea Finance», где было отменено 10 контрактов на сумму 871,6 млн долл. из-за несвоевременной выплаты авансовых платежей [6].

При этом ожидалось, что 2020 г. будет самым худшим годом по отмене заказов за всю историю судостроения, ввиду финансовых сложностей верфей, вызванных Covid-19 и вереницей последствий (сбои в цепочке поставок, сложности доставки судов, дефицита специалистов из-за ограничений по их перемещению). Но вопреки всему 2020 г. стал самым низким по уровню отмены заказов – всего 0,2 млн т, что говорит об отсутствии явного кризиса в судостроении [7].

К примеру, 2009 г. для сектора контейнеровозов стал самым провальным годом за всю историю судостроения, когда было отменено заказов на 210 млн т дедвейта, в 2021 г. – лишь 17, *рис. 2.*



Рис. 2. Заказы и отмена контейнеровозов, млн. т. Дедвейта  
Источник: BRS GROUP

### Утилизация судов

Сдача судов на слом помогает снизить избыточное предложение тоннажа и стимулирует модернизацию флота, в том числе с экологической точки зрения, поскольку на утилизацию отправляются, как правило, суда с более высоким расходом топлива. Но в очередной раз долгожданный всплеск утилизации, который, как ожидалось, принесёт некоторое облегчение рынка судоходства, не оправдался. Тоннаж, отправленный на слом, в 2022 г. оставался на рекордно низком уровне – 10 млн т, рис. 3. Это также составляет менее 0,5% от общего числа действующего флота.

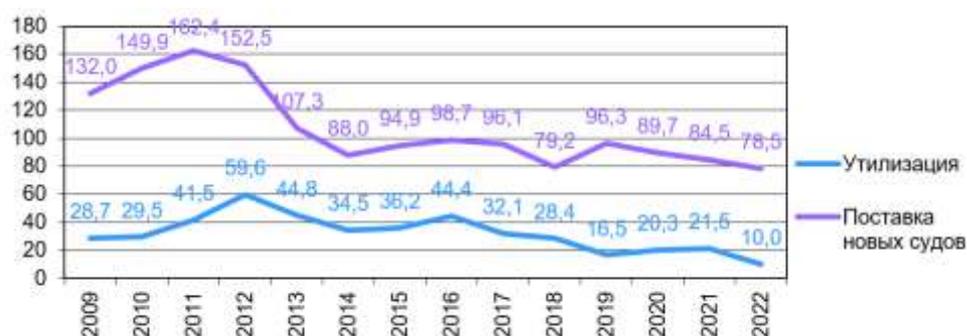


Рис. 3. Утилизация в сравнении с поставками новых судов, МЛН Т дедвейта

Источник: BRS GROUP

Введённое более строгое природоохранное законодательство в 2022 г. не возымело должного эффекта. Рыночные интересы судовладельцев оказались сильнее, поскольку они стремились в полной мере воспользоваться пиками фрахтовых ставок (табл. 2), и продолжали использовать прежние контейнеровозы, танкеры и балкеры.

Таблица 2

### Динамика средних фрахтовых ставок на танкеры, в долларах

Источник: BRS GROUP

Показатель	2018	2019	2020	2021	2022
Афрамакс	14395	20694	24090	18567	29800
Suezmax	16372	26356	31980	21731	30420

Большинство судов отправленных на слом, принадлежали танкерному флоту. Их тоннаж составил 6,2 млн т в 2022 г. и 12,3 млн т в 2021 г. Это составляло почти 1% от активного танкерного флота (695 млн т дедвейта). В сегменте балкерного флота тоннаж, отправленный на слом, достиг 3,1 млн т в 2022 г. и 7,3 млн т в 2021 г., что является самым низким показателем за исследуемый период. Логично полагать, что в секторе контейнерного флота было проведено существенно мало работ по его слому, где в 2022 г. было утилизировано всего одно судно, что является рекордно низким показателем.

В результате в 2022 г. средний возраст списанных судов составил следующие позиции:

- для круизных судов снизился с 47 до 28 лет, что является рекордным;
- для балкеров снизился с 30 до 27 лет;
- для танкеров увеличился с 28 до 29 лет;
- для контейнеровозов остался неизменным – 24 года.

Можно отметить, что за исследуемый период число действующих верфей в мире сократилось на 40% и в 2022 г. составило 260.

### **Цены на морские суда**

Цены на чартерных рынках на новое строительство балкеров и контейнеровозов выросли примерно на 5-10% в течение первой половины 2022 г. до начала осени. Затем они снизились и завершили год на уровне от 0 до 5% выше уровней начала года. Это произошло после того, как они взлетели примерно на 30% в 2021 г. Цены на танкеры последовали этому же примеру просто потому, что большинство верфей, за исключением тех, которые специализируются на определённых типах тоннажа, продают слоты, а не типы судов. Поэтому тем владельцам, которые планировали заказывать танкеры, пришлось приспособиться к новым условиям судостроения и соглашаться на более высокие цены, несмотря на сложный рынок танкерных перевозок.

Вместе с тем, три азиатских судостроительных гиганта отмечают уменьшение прибыли, несмотря на всё продолжающийся рост контрактных цен. Руководство верфей объясняет это значительным ростом цен на энергоносители и сталь, а также необходимостью повышения заработной платы рабочим, чтобы избежать дальнейшего оттока квалифицированного персонала.

Цены на вторичном рынке следовали по той же схеме, что и на чартерных рынках. Цены на подержанные контейнеровозы выросли в период с начала по конец 2022 г., табл. 3.

Таблица 3

#### **Цены на подержанные суда 5-летней давности (млн долларов)**

Источник: BRS GROUP

Показатель	2021			2022		
	январь	декабрь	изменение январь / декабрь	январь	декабрь	изменение январь / декабрь
Афрамакс	31,41	40,75	+19,4	40,76	59,03	+44,8
Панамакс	31,96	32,47	+53,7	32,47	29,31	-9,7
Спрамакс	15,13	27,8	+83,8	27,66	24,11	-12,8

Большая часть как судо-, так и грузовладельцев предпочитают пополнять свой флот за счёт подержанных судов, активно приобретая их на вторичном рынке, а также прилагают все усилия для продления сроков эксплуатации возрастных судов. Таким образом, сложилась двухтактная динамика между новостройками и подержанными судами.

#### **Три азиатских судостроительных гиганта**

Три азиатских судостроительных гиганта продолжили ожесточённую борьбу, пытаясь сосредоточить свои усилия на сделках с высокой стоимостью.

Впервые за всё время, в 2022 г., Китай преодолел символическую планку 50% (121,3 млн т) от общемирового объёма заказов. С точки зрения обеспеченных новых заказов Китай вытеснил другие страны во всех основных сегментах (балкеры, танкеры, контейнеровозы), заняв лидирующие позиции 67%, 44% и 28%, соответственно. В 2022 г. китайские верфи получили заказы на 172 судна с двухтопливными двигателями (исключая перевозчики СПГ) против 150, 61 и 50 заказов, размещённых в 2019-2022 гг.

В 2022 г. Р. Корея заняла второе место в мире по объёму заказов – 69,8 млн т (или 29% доли мирового рынка). Портфель заказов остаётся на уровне 2021 г., несмотря на снижение объёма новых заказов на 40% (с 32 млн т до 25,2 млн т). В сегменте танкеров Корея опустилась с первой на вторую позицию, уступив место Китаю. Сегмент контейнерных перевозок устоял лучше, чем в Китае, поскольку объём новых заказов снизился всего на 38% по сравнению с Китаем – 45%. Сегмент балкеров остаётся зарезервированным только для отечественных владельцев, поскольку

Корейские верфи решили выйти из этого сегмента несколько лет назад. Корейские верфи по-прежнему доминируют в строительстве судов для перевозки СПГ (71% размещённых по всему миру заказов). В 2022 г. корейские верфи получили заказы на 73 судна с двухтопливными двигателями (исключая перевозчики СПГ) против 122 заказов в 2021 г, что составило 25% от общего объёма двухтопливных судов, заказанных по всему миру в прошлом году, и 24% от общего объёма заказов, размещённых в Корее.

Япония сохранила свои позиции третьего по величине судостроителя в 2022 г. с объёмом заказов на новое строительство в 11,4 млн т (или 16% доли мирового рынка) и объёмом производства в 15,6 млн т (20%).

#### **Судостроение в России**

Пожалуй, что рынок отечественного судостроения переживает самый сложный период. По итогу 2022 г. было построено 128 судов (117 – на российских верфях и 11 – зарубежных), т.е. судостроение ориентировано на отечественный рынок, доля которого составляет 80% и более, *табл. 4.*

*Таблица 4*

**Информация о построенных судах на отечественных и зарубежных верфях в 2022 г.**  
Источник: По материалам Форума «Арктика – Регионы», г. Архангельск (12-14 апреля 2023г.) [8]

По данным	Отечественные верфи		Зарубежные верфи	
	Количество судов	Стоимость, млн руб.	Количество судов	Стоимость, млн руб.
ФАУ «Российский морской регистр судоходства»	35	151881,9	11	34880
ФАУ «Российское классификационное общество»	82	7049,1	0	0
Итого	117	158931,0	11	34880

Такой существенный рост был связан с тем, что некоторые суда прошлого года вышли из графика строительства из-за не поставки оборудования недружественных стран. И поэтому подлежат в этом году перепроектированию, т.е. отечественные верфи производят подбор аналогов необходимого оборудования. Примечательно, что в 2021 г. на отечественных верфях было построено 39 судов [9]

В тоже время существует проблема отсутствия денег на закупку повторного оборудования по причине уже выплаченных авансов зарубежным верфям. Соответственно вторых денег на подобную закупку даже на российские аналоги у верфей нет. Поэтому в настоящее время Правительство РФ рассматривает вопросы о частичной компенсации субсидирования верфей на предмет расходов, понесённых ранее выплаченных авансов. В нынешних условиях остаётся надеяться, что российские корабли смогут выдержать этот непростой период и им удастся максимально удовлетворить внутрироссийский спрос на морские суда.

#### **Экологические требования**

Международная морская организация (ИМО) по-прежнему предусматривает сокращение объёма потребления судового топлива и сохранение его на уровне 2008 г., которое будет находиться в диапазоне 310-340 млн т нефтяного эквивалента, несмотря на удвоение мирового коммерческого флота с 1108 млн т (или 30864 судов) до 2072 млн т (или 40588 судов) к 2030 г. Кроме того, установлен промежуточный этап сокращения выбросов CO<sup>2</sup> на 40% к 2030 г. Хотя, по соображениям экономической эффективности, морские суда проектируются и строятся таким образом, чтобы они гарантированно прослужили 30 лет. Для достижения поставленных целей ИМО, судоходной отрасли надлежит найти оптимальное сочетание технических и эксплуатационных мер и инновационных решений.

Вероятно, что все суда обязаны либо перейти на альтернативные виды топлива, либо пройти переоборудование с установкой скрубберов. Однако, в действительности ситуация не так проста. Если в отношении перехода на альтернативные виды топлива существует проблема соблюдения его качества новым стандартам ИМО, то касаемо установки скрубберов отмечаются технологические недоработки.

Некоторые владельцы приняли решение и выбрали двухтопливную двигательную установку (СПГ, сжиженный газ, метанол) в качестве метода сокращения выбросов загрязняющих веществ. Эта стратегия также обеспечивает более чистую энергию и сокращение выбросов CO<sup>2</sup> (меньше углерода и больше водорода в молекулярной цепи).

### **Обсуждение результатов исследования**

Действительно ли мировой рынок судостроения находится на пороге нового суперцикла? К числу факторов, указывающих на то, что действительно наступает новый период в судостроении можно отнести:

- Резкий рост заказов на строительство морских судов в 2021 г. по сравнению с предыдущими годами;
- Интенсивное выбытие морских судов, которые были построены в 2005-2010 гг. (от 1360 до 2485 судов в год), что превышает действующие производственные мощности;
- Необходимость замены неэкологичных и неэкономичных судов, которые не соответствуют последним нормативным требованиям;
- Рост цен на подержанные суда.

К числу факторов, которые могут «отодвинуть» новый этап судостроения на несколько лет вперед можно отнести:

- Скачок фрахтовых ставок на балкерные и контейнерные суда;
- Продолжающиеся сбои в цепочке поставок, вызванные Covid-19;
- Несоответствие между тарифами на перевозку грузов и ценами на новые суда;
- Повышенная геополитическая напряжённость между основными экономическими зонами;
- Рост цен на энергоносители и сырьевые товары;
- Технические неопределённости в отношении выбора топлива и технологий.

В этих условиях можно ожидать, что новый суперцикл в судостроении, по самым скромным предположениям, начнётся после 2025 года.

### **Заключение**

Подытожив, можно отметить следующее. Мировой рынок судостроения переживает сложный этап развития, где с одной стороны наблюдается повышенный спрос на морские суда, с другой – увеличиваются требования к постройке новых типов судов.

В нынешнее время судостроительная промышленность находится на пороге нового суперцикла, но влияние ряда факторов (скачок фрахтовых ставок, продолжающиеся сбои в цепочке поставок, рост цен на энергоносители и сырьевые товары, геополитическая нестабильность, а также неопределённость в отношении выбора топлива и технологий) позволяют предположить, что новый этап судостроения начнётся после 2025 года.

### **Список литературы**

1. Sawyer L.A. Mitchell W.H. The Liberty Ships: The History of the «Emergency» Type Cargo Ships Constructed in the United States During the Second World War. 2nd Edition, Lloyd's of London Press Ltd., London, England, 1985. pp. 7-10.

- Shipping and shipbuilding markets. BRS GROUP - Annual Review 2020. URL: <https://www.brsbrokers.com/annualreview2020.html>. (дата обращения: июнь 2023).
- Никифоров В. Г., Неслухов Д. С. Современные тенденции развития мировой судостроительной отрасли с позиции теории экономических циклов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. 2017. № 3. С. 101–111. DOI 10.24143/2073-5537-2017-3-101-111.
- Обзор морского транспорта, 2018 год. URL: [https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2018summary\\_ru.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2018summary_ru.pdf) (дата обращения: июнь 2023).
- Заостровских Е. А. Развитие морского транспорта России и Дальнего Востока в контексте мировых тенденций в 2020 г. // Регионалистика. 2021. Т. 8. № 6. С. 68–84. <http://dx.doi.org/10.14530/reg.2021.6.68>
- Shipping and shipbuilding markets. BRS GROUP - Annual Review 2022. URL: <https://www.brsbrokers.com/annualreview2022.html>. (дата обращения: июнь 2023).
- Обзор морского транспорта, 2020 год. URL: [https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020summary\\_ru.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020summary_ru.pdf) (дата обращения: июнь 2023).
- Стоянов Д. О. Практические аспекты импортозамещения и локализации в судостроении. По материалам Форума «Арктика – Регионы», г. Архангельск (12-14 апреля 2023 г.) URL: <https://arcticports.ru/uchastnikam/translyatsiya> (дата обращения: июнь 2023).
- В замедленном темпе. Аналитический отчет. ИА «Порт Ньюс». 2022 (дата обращения: июнь 2023).

#### References

- Sawyer L.A. Mitchell W.H. The Liberty Ships: The History of the «Emergency» Type Cargo Ships Constructed in the United States During the Second World War. 2nd Edition, Lloyd's of London Press Ltd., London, England, 1985. pp. 7-10.
- Shipping and shipbuilding markets. BRS GROUP - Annual Review 2020. URL: <https://www.brsbrokers.com/annualreview2020.html>. (accessed: June 2023).
- Nikiforov V.G., Neslukhov D.S. Modern trends in the development of the world shipbuilding industry from the perspective of the theory of economic cycles // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Economics. 2017. No. 3. pp. 101-111. DOI 10.24143/2073-5537-2017-3-101-111.
- Review of Maritime Transpor. 2018 год. URL: [https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2018summary\\_ru.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2018summary_ru.pdf) (accessed: June 2023).
- Zaostrovskikh E.A. The Development of the Maritime Transport of Russia and the Far East in the Context of World Trends in 2020. Regionalistics. 2021. Vol. 8. No. 6. Pp. 68–84. <http://dx.doi.org/10.14530/reg.2021.6.68>
- Shipping and shipbuilding markets. BRS GROUP - Annual Review 2022. URL: <https://www.brsbrokers.com/annualreview2022.html>. (accessed: June 2023).
- Review of Maritime Transpor. 2020 год. URL: [https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020summary\\_ru.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020summary_ru.pdf) (accessed: June 2023).
- Stoyanov D.O. Practical aspects of import substitution and localization in shipbuilding. Based on the materials of the Arctic – Regions Forum, Arkhangelsk (April 12-14, 2023) URL: <https://arcticports.ru/uchastnikam/translyatsiya> (accessed: June 2023).
- In slow motion. Analytical report. IA "Port News". 2022 (accessed: June 2023).

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Заостровских Елена Анатольевна**, кандидат экономических наук, научный сотрудник, Институт экономических исследований Дальневосточного отделения РАН (ИЭИ ДВО РАН), (680042, Хабаровск, Тихоокеанская ул., 153), e-mail: [zaost@ecrin.ru](mailto:zaost@ecrin.ru)

**Elena A. Zaostrovskikh**, PhD of Economy, Researcher, Economic Research Institute of Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (153, Tikhookeanskaya Street, Khabarovsk, Russia, 680042), e-mail: [zaost@ecrin.ru](mailto:zaost@ecrin.ru)

Статья поступила в редакцию 21.07.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 21.07.2023; published online 20.09.2023.

УДК 656.6

DOI: 10.37890/jwt.vi76.368

## **Современное состояние, проблемы и основные направления развития логистики на водном транспорте**

**О.Л. Домнина**

*ORCID: 0000-0002-9098-313X*

**В.Н. Костров**

*ORCID: 0000-0003-1139-102X*

**А.О. Ничипорук**

*ORCID: 0000-0002-7763-2829*

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

**Аннотация.** В работе выполнено обзорное исследование, посвященное обобщению информации по проблемным областям развития логистики на водном транспорте и выявлены основные направления, по которым в настоящее время ведутся исследования российских и зарубежных ученых. При обработке материала использовались системный и комплексный подходы к анализу Транспортной Стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года и публикаций по обозначенной тематике, размещенных в открытом доступе. Проблемные области анализировались по следующим блокам: экономическому, организационному, технологическому, техническому, информационному, экологическому и обеспечения транспортной безопасности, нормативно-правовому и подготовки кадров. Проанализировано более 160 источников, отобраны из них 60, на основании которых выявлены основные проблемные области научных исследований. Показано на примерах, что нередко исследования затрагивают более одной области. Выявлено, что наибольший интерес и значимость в современных условиях вызывают следующие перспективные направления в сфере логистики на водном транспорте: беспилотное судовождение и связанные с ним организационно-технические аспекты; использование современных цифровых технологий для анализа информации и принятия оптимальных решений в кратчайшие сроки с минимальными затратами; использование и развитие международных транспортных коридоров, связанные с этим технические, технологические, экономические, организационно-управленческие, правовые решения; развитие инфраструктурных проектов для их оптимального и быстрого запуска или обновления; повышение безопасности и экологичности перевозок. Полученные результаты могут представлять интерес для аспирантов и молодых ученых, находящихся в поиске предметных областей исследования.

**Ключевые слова:** логистика, водный транспорт, экономические, организационные, технологические, технические, экологические, правовые аспекты, цифровизация.

## **Current state, problems and main directions of logistics development in water transport**

**Olga L. Domnina**

*ORCID: 0000-0002-9098-313X*

**Vladimir N. Kostrov**

*ORCID: 0000-0003-1139-102X*

**Andrei O. Nichiporuk**

*ORCID: 0000-0002-7763-2829*

*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russian Federation*

**Abstract.** The review study devoted to the generalization of information on problematic areas of logistics development in water transport has been carried out and the main directions in which research is currently being conducted by Russian and foreign scientists have been identified. When processing the data, systematic and integrated approaches were used to analyze the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035 and publications on the designated topics posted in the public domain. The problem areas were analyzed in the following blocks: economic, organizational, technological, technical, informational, environmental and transport security, regulatory and training. More than 160 sources were analyzed, 60 of them were selected, on the basis of which the main problem areas of scientific research were identified. It is shown by examples that research often affects more than one area. It is revealed that the following promising areas in the field of logistics in water transport are of the greatest interest and importance in modern conditions: unmanned navigation and related organizational and technical aspects; the use of modern digital technologies for analyzing information and making optimal decisions in the shortest possible time with minimal costs; the use and development of international transport corridors, related technical, technological, economic, organizational, managerial, legal solutions; development of infrastructure projects for their optimal and rapid launch or renewal; improving the safety and environmental friendliness of transportation. The results obtained may be of interest to graduate students and young scientists who are in search of subject areas of research.

**Keywords:** water transport, logistics, economic, organizational, technological, technical, environmental, legal aspects, digitalization

### **Введение**

Термин «логистика» начал использоваться в трактатах по военному искусству византийского императора Льва VI с 865 года. В русский язык этот термин ввел Антуан Жомини в начале XIX века. В советские времена этот термин не использовался в России, вместо него в основном употреблялся термин «снабжение». Значительное развитие логистика получила во время Второй мировой войны, когда было необходимо наладить совместную работу промышленности, тыловых служб и транспорта. В после перестроечное время (начиная с 1990 года) термин логистика вернулся в широкое употребление в России и в основном ассоциировался с бизнесом.

Существует множество различных определений логистики, которые вместе с тем отражают ее общую сущность. Это наука об управлении материальными и связанными с ними информационными, финансовыми, людскими потоками на основе их оптимизации. Объектом ее изучения являются: логистические операции, логистические системы, логистические цепи, логистические издержки, материальные, финансовые, людские и информационные потоки.

Основными логистическими концепциями, используемыми для повышения эффективности логистики, являются:

- точно в срок (ее основная идея - организация движения материальных потоков для поставки товара в нужном количестве, в нужное место и к определенному времени, что приводит к снижению оборотных средств в пути, страховых запасов, и как следствие, к снижению замороженных денежных средств компании);
- планирование потребностей/ресурсов (организация движения материальных ресурсов, при которой они передаются с одной операции на другую в соответствии с заранее сформированным жестким графиком; различают планирование производственных ресурсов MRP, планирование потребностей предприятия ERP, планирование распределения DRP);
- бережливое производство (то есть управление предприятием, в основе которого стремление устранить все потери, предполагает максимальную

ориентацию на потребителя и эффективное вовлечение в процесс оптимизации персонала);

- логистика, ориентированная на спрос (разновидность концепции «планирования потребностей/ресурсов», которая ставит во главу угла максимальное сокращение времени реагирования при прогнозировании увеличения спроса через быстрое пополнение запасов);
- управление цепью поставок (заключается в управлении взаимоотношениями между потребителем и поставщиками с целью получения максимальной потребительской ценности от услуг при наименьших издержках по всей цепи поставок в целом, что приводит к тому, что конкурируют между собой не конкретные предприятия, а их цепи поставок).

В последнее время они дополнились более новыми концепциями:

- логистика в реальном масштабе времени (ее основная идея - оптимизация всех фаз жизненного цикла продукции по времени за счет интеграции всех звеньев логистической цепи и обмена информацией между ними в режиме реального масштаба времени. Основана на электронном документообороте, когда на любом участке маршрута любое лицо может получить информацию о состоянии груза и принять управленческое решение);
- логистика добавленной стоимости (ее основным инструментом является логистический сервис, добавляющий стоимость и повышающий ценность услуги. Например, упаковка, взвешивание, маркировка, организация временного хранения и др.);
- виртуальная логистика (основана на интеграции субъектов бизнеса и управления посредством создания интернет площадок и web представительств, широко используется в сфере электронных закупок);
- электронная логистика (ориентированная на осуществление операций на уровне товарной единицы и уделяющая большое значение срокам ожидания заказа, где товар должен быть подготовлен к передаче в службу доставки в пределах от 2 до 5 часов).

В настоящее время выделяются базовые области логистики: закупочная, производственная, распределительная, а также функциональные (специальные). В зависимости от решаемой задачи выделяются и исследуются следующие функциональные области или виды логистики: логистика запасов, складская, информационная логистика. Иногда дополнительно упоминаются логистика утилизации, обратная логистика и «зеленая» логистика. Особое место и внимание специалистами при этом уделяется транспортной логистике.

Закупочная логистика занимается исследованием и анализом рынков, планированием потребностей, выбором поставщиков и управлением работой с ними, формированием, размещением и контролем заказов, рассмотрением вопросов выбора закупать или производить материалы и комплектующие.

Производственная логистика нацелена на ритмичное, своевременное перемещение материальных ресурсов между стадиями и рабочими местами производства с минимальными издержками в соответствии с заказами потребителей и/или планами производства и реализации готовой продукции.

Предметом рассмотрения распределительной логистики или логистики сбыта являются процессы реализации товаров конечным потребителям, ее задача – предоставить потребителю готовую продукцию в нужном месте в нужном количестве в нужное время с минимальными издержками.

Суть транспортной логистики - организация перемещения материальных предметов из одной точки в другую по оптимальному маршруту. В более широком смысле транспортная логистика предусматривает управление объектами и субъектами транспортной и логистической инфраструктуры, включая транспортировку, хранение товаров, правовое и информационное сопровождения.

Логистика запасов раздел логистики, изучающий закономерности создания и распределения запасов.

Складская логистика рассматривает и оптимизирует приёмку, обработку, хранение, консолидацию и отгрузку товаров на складах. Она определяет процедуры и процессы управления ресурсами складского хозяйства.

Информационная логистика занимается оптимизацией информационных потоков и их распределением между традиционными и цифровыми носителями в целях обеспечения эффективного товародвижения или перемещения людей.

Логистика утилизации занимается снижением затрат и повышением качества услуг, связанных с утилизацией отходов, образующихся в ходе деятельности предприятия. Обратная логистика направлена на операции, которые связаны с планированием, реализацией и контролем за товарами, возвращаемыми поставщикам от покупателей с целью восстановления стоимости или утилизации. Целью зеленой логистики является минимизация воздействия логистической деятельности на окружающую среду.

Использование системного подхода в логистике приводит к объединению таких взаимосвязанных компонентов логистической системы как логистические услуги, используемая инфраструктура, финансовые, людские и информационные потоки. При этом учитывается деятельность как осуществляемая своими силами, так и внешними участниками. Именно системность и комплексность рассмотрения вопросов позволяет повысить эффективность осуществления логистических операций.

В тоже время необходимо выделить в современной России особую значимость транспортных проблем. Их значимость обусловлена, с одной стороны, тем, что около 50% всех расходов на логистику связано и ранее было с транспортными издержками. Современная политическая ситуация еще больше увеличила значение транспортной логистики. В результате нарушения традиционных логистических цепочек доставки товаров, введения запретов на ввоз комплектующих и некоторых видов продукции сменились география закупок и существующие до 2022 года схемы доставки. Наблюдается переориентация с европейских транспортных компаний на китайские, индийские и другие. Из-за нарушения сложившихся взаимоотношений в логистике, на первый план стали выходить теория и методология развития логистики смешанных перевозок, в том числе в условиях трансформации логистических цепочек (развития параллельного импорта, переориентации потоков в направлении «север-юг», на Дальний Восток и др.).

Необходимо также отметить, что почти во всех рассмотренных базовых и специальных областях логистики, а также в условиях применения всех логистических концепций есть вопросы, связанные с транспортной логистикой. В ней присутствуют практически все задачи, связанные с движением материальных потоков. Рассматривая транспортную логистику в разных аспектах и обобщая информацию, можно сказать, что транспортная логистика – это совокупность плановых, организационных, экономических, правовых и других вопросов, связанных с доставкой материально-технических ресурсов покупателям и транспортировкой пассажиров в пункты назначения [1]. Ее основными задачами являются: минимизация транспортных издержек; нахождение оптимальных маршрутов; поиск и выбор перевозчиков и экспедиторов; вопросы планирования перевозок; прохождение таможенных формальностей; обеспечение единой схемы доставки при организации интермодальных и мультимодальных перевозок; вопросы консолидации грузов в процессе доставки; хранение и выполнения погрузо-разгрузочных операций на

грузовых терминалах; разработка технологий и управление перегрузочным процессом; повышение безопасности движения транспортных средств; развитие транспортной инфраструктуры; кадровое обеспечение транспортного процесса.

Поэтому рассмотрение вопросов, связанных с основными проблемами в области транспортной логистики и основных направлениях ее развития, являются весьма актуальными. Особый интерес представляет логистика на водном транспорте как отраслевом специальном звене существующих и новых интегрированных цепей поставок. Целью данного исследования является обзор основных проблем в области транспортной логистики на водном транспорте, рассмотренных в работах ученых и формулирование основных направлений проводимых исследований в данном направлении, в том числе требующих развития.

### **Методы**

При обработке материала использовались системный и комплексный подходы к анализу публикаций по обозначенной тематике, размещенных в открытом доступе. Оценку современного состояния, сложившихся актуальных проблем в области логистики и основных направлений ее развития на водном транспорте авторы проводили по следующему алгоритму:

1. Подбор научных публикаций, различных общедоступных источников отраслевой направленности – материалы транспортных конференций, монографий ученых транспортных вузов и организаций, статьи в журналах по тематике развития водного транспорта и транспортной логистики – был осуществлен с помощью российской научной электронной библиотеки eLibrary. На основе проведенного авторами анализа источников, публикующих исследования по транспортной логистике, были выбраны в качестве базовых изданий ряд журналов для углубленного анализа направлений исследований, дополненный материалами международного научно-промышленного форума «Транспорт. Горизонты развития», монографическими исследованиями ученых-транспортников, отдельными публикациями из сформированного перечня журналов по транспортной логистике.
2. Проведение общего анализа, краткого обзора и отбора наиболее интересных и связанных с предметом исследования (логистика на водном транспорте, её современное состояние, проблемы и их решение) источников.
3. Более детальный анализ отобранных материалов, систематизация и классификация их по основным рассматриваемым направлениям, обозначенным проблемным вопросам и решаемым задачам. Также могут использоваться обзорные статьи и публикации, в которых приведены результаты анализа других авторов по различным узконаправленным сферам логистики на водном транспорте.
4. Обобщение результатов анализа, приведение рассмотренных и изученных источников в упорядоченном, сконцентрированном по направлениям и областям исследований (различным аспектам) виде.
5. Формулирование выводов относительно направлений дальнейших исследований, особенности их проведения, наиболее актуальных проблем в области логистики водного транспорта.

6. Обобщение направлений развития исследований российских ученых в области транспортной логистики в привязке к водному транспорту, обращение в необходимых случаях к зарубежным публикациям.

### Результаты

Анализ публикаций по транспортной логистике на основе поисковых запросов в библиотеке библиотеки eLibrary представлен на рис. 1,2.

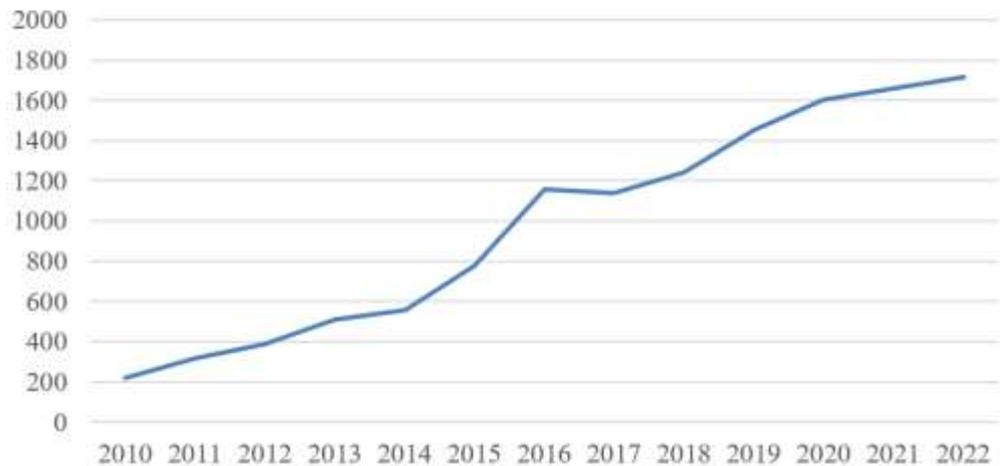


Рис. 1. Динамика количества публикаций по транспортной логистике, размещенных в электронной библиотеке eLibrary

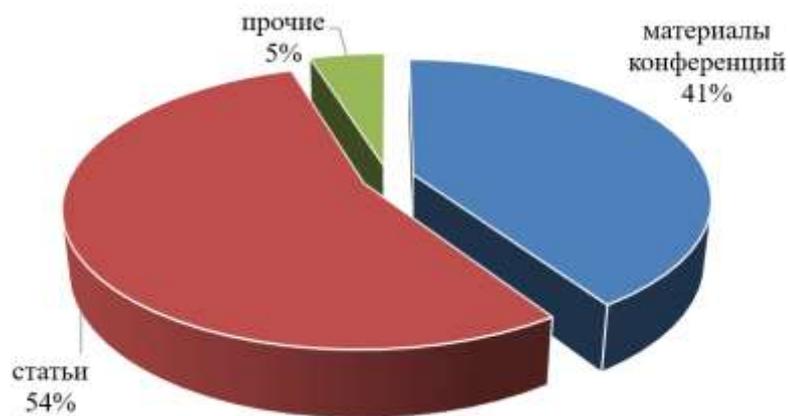


Рис. 2. Структура публикаций по транспортной логистике, размещенных в электронной библиотеке eLibrary

Как видно, из рис. 1,2, количество публикаций по транспортной логистике существенно выросло с 219 в 2010 году до 1717 в 2022 году. Анализ структуры этих публикаций (рис.2) показывает, что почти половина этих исследований (54%) опубликована в виде научных статей в различных журналах, 41% - доложена на конференциях различных уровней и размещена в материалах этих конференций. На долю прочих публикаций (научных монографий, учебных пособий, диссертационных

исследований) приходится еще около 5% публикаций. Это подтверждает актуальность и значимость транспортных проблем, работы исследователей в данном направлении.

В силу большей детализации результатов исследований в научных статьях по сравнению с материалами научных конференций и значимой доли исследований, представленных в такой форме, авторами для более подробного исследования были взяты именно научные статьи. Сузив предмет исследования до транспортной логистики, связанной с водным транспортом, были проанализированы основные журналы, в которых представлены соответствующие статьи за 2020-2022 годы (табл.1).

Таблица 1

**Анализ журналов, публикующих научные статьи по транспортной логистике и имеющие статьи, связанные в том числе с водным транспортом за 2020-2022 годы (составлено авторами на основе данных электронной библиотек eLibrary)**

№ п/п	Наименование журнала	Категория журнала	Количество публикаций			Среднее кол-во публикаций	Основные ключевые слова в журнале
			2020	2021	2022		
1	Транспортное право и безопасность	К3	19	22	25	22,0	транспортная безопасность, транспорт
2	Транспортное дело России	К2	18	17	25	20,0	инновации, эффективность, инвестиции, управление, транспорт
3	Экономика и предпринимательство	К2	9	17	24	16,7	инновации, эффективность, инвестиции, управление, транспорт
4	Вестник транспорта	нет	11	13	16	13,3	транспорт, логистика, безопасность, инфраструктура, перевозки
5	Научные проблемы водного транспорта	К3	6	11	22	13,0	транспорт, водный транспорт, оптимизация
6	Логистические системы в глобальной экономике	нет	10	9	16	11,7	логистика, транспорт, транспортная логистика, инфраструктура
7	Логистика	К2	11	17	5	11,0	логистика, транспорт, логистические цепи, логистическая инфраструктура
8	Морские интеллектуальные технологии	К1, как м/нар	6	8	9	7,7	математическая модель, проектирование, оптимизация, моделирование
9	Universum:	нет,	1	3	17	7,0	технология,

№ п/п	Наименование журнала	Категория журнала	Количество публикаций			Среднее кол-во	Основные ключевые слова в
	технические науки	Узбекистан					модификация, качество
10	Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева	нет, Казахстан	8	2	8	6,0	логистика, анализ, надежность, математическая модель, транспорт
11	Вестник государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова	нет	2	8	7	5,7	транспорт, морской транспорт, эффективность, безопасность
12	Мир транспорта и технологических машин	К2	4	3	9	5,3	автомобиль, безопасность, транспорт, транспортное средство
13	Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока	нет	1	6	7	4,7	эффективность, математическая модель, моделирование
14	Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова	К1	3	4	4	3,7	моделирование, северный морской путь, имитационное моделирование
15	Эксплуатация морского транспорта	К2	2	3	3	2,7	безопасность, эффективность, моделирование
16	Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт	нет, Белоруссия	0	4	3	2,3	железнодорожный транспорт, пассажирские вагоны, пассажирские перевозки
17	Проблемы управления рисками в техносфере	К2	2	1	3	2,0	пожарная безопасность, чрезвычайная ситуация, безопасность, моделирование
18	Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России	К3	0	3	3	2,0	пожарная безопасность, чрезвычайная ситуация, безопасность, управление
19	Вестник транспорта Поволжья	К3	1	2	3	2,0	тепловоз, математическая модель,

№ п/п	Наименование журнала	Категория журнала	Количество публикаций			Среднее кол-во	Основные ключевые слова в подвижной состав
20	Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология	K1	0	1	3	1,3	математическая модель, проектирование, трубопроводы,

Учитывая, что исследования по логистика на водном транспорте входят в состав паспортов по специальностям 5.2.3 Региональная и отраслевая экономика (транспорт и логистика) (до 2022 года специальность 08.00.05), 2.9.7. Эксплуатация водного транспорта, водные пути сообщения и гидрография (до 2022 года специальность 05.22.19), необходимо отсеять журналы, не имеющие категории (отсутствующие в списке, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией), или же рекомендованные не по этим специальностям. Также уберем из списка журналы в основном специализирующиеся на других видах транспорта (трубопроводном, железнодорожном, автомобильном). В результате список журналов был еще более сужен до перечня из восьми: Транспортное дело России, Научные проблемы водного транспорта, Морские интеллектуальные технологии, Экономика и предпринимательство, Логистика, Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, Эксплуатация морского транспорта, Вестник Астраханского государственного технического университета (Серия: Морская техника и технология). Список базовых изданий был дополнен материалами международного научно-промышленного форума «Транспорт. Горизонты развития», монографическими исследованиями ученых-транспортников. В этих журналах было отобрано порядка 100 статей, детальное рассмотрение которых привело к сокращению списка анализируемых работ до 60. Именно по ним был проведен анализ рассматриваемых проблем в области логистики водного транспорта.

Направления развития российских логистических систем отражены в «Транспортной Стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» (далее Стратегии). На основании нее зачастую формируются и планы развития транспортных организаций, и направления исследований российских ученых. Обозначенные в Стратегии целевые направления развития: повышение пространственной связанности и транспортной доступности территорий; повышение мобильности населения и развитие внутреннего туризма; цифровая и низкоуглеродная трансформация отрасли и ускоренное внедрение новых технологий [2]. Среди наиболее актуальных задач развития грузовых перевозок в Стратегии обозначены следующие: повышение скорости и надежности грузовых перевозок, включая развитие мультимодальных перевозок; развитие транспортных коридоров; сокращение сроков доставки грузов; обновление подвижного состава и др. Особое внимание в Стратегии уделено цифровым технологиям в логических системах «с учетом требований по импортозамещению в интересах развития глобальной конкурентоспособности отечественных поставщиков программных и аппаратных решений» [2]. При этом говорится о таких направлениях внедрения цифровых технологий как: внедрение электронных цифровых документов; систем отслеживания перемещения грузов; цифровой аналитики грузопотоков; развитие беспилотных транспортных средств; развитие интеллектуальных транспортных систем.

В русле обозначенных направлений ведутся и исследования ученых в области транспортной логистики. На основании проведенного авторами анализа отобранных источников, публикаций в периодических отраслевых изданиях, можно выделить

следующие аспекты и актуальные **проблемные области**, рассматриваемые логистикой на водном транспорте в современных условиях:

#### 1. Экономические.

В условиях санкционного давления со стороны недружественных стран, динамично меняющейся геополитической обстановки и условий экономического взаимодействия (от былого сотрудничества к современному противостоянию) на мировом и региональном уровнях, транспортная логистика приобретает новый, дополнительный смысл. Появляются вопросы быстрого и адекватного реагирования на изменения в структуре и направлениях грузопотоков, противодействия дискриминационным экономическим мерам, поддержки национальных транспортных предприятий и организаций, перестройки и сохранения эффективности логистических цепей поставок [3-6].

Также не утратил, а скорее, приобрел еще более важное значение вопрос логистического обеспечения экономической безопасности страны – в плане инфраструктурного обеспечения национальных интересов страны (развития перевозок, соответствие потребностям экономического роста, устранение лимитирующих элементов в транспортно-логистических системах), повышения эффективности и развития внутреннего и внешнего (транзитного, экспортно-импортного) перевозочного потенциала [7].

Здесь же актуальным представляется рассмотрение и проработка финансово-экономического обеспечения развития и поддержки инфраструктурных и прочих проектов на транспорте, без которых эффективное функционирование транспортно-логистических систем, обеспечение их конкурентоспособности в современных условиях просто невозможно. Подобными механизмами могут быть тарифное регулирование, субсидирование и целевое финансирование строительства и поддержания объектов инфраструктуры, экономической устойчивости грузовых и пассажирских перевозчиков, особенно взаимодействующих в системах комбинированных перевозок [8-10]. Особо следует отметить работу Миронова В.Н. и ряда других авторов по интеграции в существующую транспортную инфраструктуру рек Сибири и Дальнего Востока. При этом делается акцент на том, что внутренний водный транспорт должен рассматриваться не как конкурент железнодорожного и автомобильного транспорта, а как один из участников мультимодальных и интермодальных перевозок. Дополнительно приводятся методологические подходы к развитию государственно-частного партнерства для развития транспортной инфраструктуры удаленных регионов [10].

#### 2. Технологические.

В рамках данного аспекта учеными уделяется внимание как повышению эффективности существующих технологий, более активному вовлечению к их использованию водного транспорта (например, перевозок крупногабаритных и тяжеловесных грузов, контейнерным перевозкам, новым способам упаковки и транспортировки массовых грузов) [11-14], так и проработке технологии взаимодействия видов транспорта и организации перевозок в смешанных сообщениях с использованием судов нового типа, накатных и контейнерных технологий, эксплуатации, реализации логистических принципов доставки «от двери до двери» и «точно в срок» в существующих и перспективных цепях поставок, осуществления многофункциональных (грузопассажирских) перевозок [15-18].

#### 3. Технические.

Многие логистические подходы и решения, в том числе организационно-технологического характера, требуют соответствующего инфраструктурного и технического обеспечения. Эффективность многих этапов перевозки требует использования, проектирования и разработки отвечающего предъявляемым

требованиям подвижного состава, оборудования, сооружений. Часть предложений в области оптимизации логистических цепей поставок базируется на имеющихся технических решениях, а другие, наоборот, требуют обоснования и разработки инновационных средств. К ним могут относиться разработка новых транспортных средств [19-22], использование или модернизация имеющихся проектов с учетом их раннего прогрессивного опыта эксплуатации [23], обоснование эксплуатационно-технических характеристик грузовых судов на основе критерия энергоэффективности [24], развитие и оптимизация существующей транспортной инфраструктуры в целях повышения эффективности перевозок, в том числе в комбинированном сообщении [25-26], формирование транспортно-логистической инфраструктуры на новых территориях (Сибири, Дальнего Востока, Арктики и др.) и направлениях использования водного транспорта, тем самым расширяя сферу его эффективного использования [27-28]. Также уделяется внимание оценке использования контейнеров и других укрупненных грузовых единиц с целью увеличения провозных и пропускных возможностей, увеличения средней скорости доставки [28].

#### 4. Организационные.

Принципы и подходы логистики активно используются при обосновании и выработке мероприятий по оптимизации взаимодействия контрагентов в рамках транспортно-логистических систем, формировании механизмов и организационной структуры управления и функционирования новых схем и систем доставки.

Рассмотрение вопросов логистического обеспечения востребовано в области организации перевозок пассажиров [29-30], грузопассажирских линий [15], региональных и межрегиональных транспортных сообщений [31].

Существуют предложения по использованию принципов логистики при интеграции отечественной транспортной систем в общемировую, передаче части грузопотоков с одних видов транспорта на другие с целью повышения эффективности и качества перевозок [32-33], нахождения баланса между изменившимися грузопотоками и имеющимися ресурсами на основе методов смешанного целочисленного линейного программирования, моделирования взаимоотношений в процессе проведения грузовых операций и таможенных услуг с помощью технологии предварительного декларирования о досрочном размещении грузов в досмотровой зоне [34].

Особый интерес вызывают организационные логистические решения в области оптимизации процессов, транспортно-логистических схем доставки, призванные выявить и сформировать дополнительные резервы (финансовые, пропускной способности, конкурентных возможностей) для воднотранспортных предприятий при осуществлении традиционных, но слабо развивающихся (в том числе в силу недостаточного их логистического обеспечения, минимальной экономической эффективности, недостаточной государственной поддержки) направлений – Северного завоза и взаимодействия отдельных элементов воднотранспортной системы по доставке грузов, оптимальные схемы доставки грузов на боковые реки, добычи и поставки нерудных строительных материалов [35-36]. Данные исследования представляют ценность с их прикладной направленностью и ориентацией предложений и разработок на конкретные регионы – Сибирь, Дальний Восток, Нижегородскую, Астраханскую и другие области Европейской части России.

Уделяется внимание рейсовому планированию с разработкой математических моделей, адекватных процессам в реальных условиях и с учетом сложившейся экономической конъюнктуры на рынке [37], моделей определения потребностей и распределения плавсредств, буксирного флота, закрепления тяги за тоннажем.

Часть работ посвящена организационным вопросам логистики обеспечения безопасности плавания современных судов «река-море» на основе применения перспективных 3D электронных навигационных карт.

Представляют интерес предложения по внедрению новых средств укрупнения сборных партий грузов при использовании контейнеров в зонах хинтерленда, оптимизации линейных маршрутов или сравнительного анализа различных вариантов организации контейнерных линий [38-39].

#### 5. Информационное обеспечение (цифровизация).

Вопросы информационного обеспечения логистических процессов и систем получили столь широкое распространение и пристальное внимание со стороны ученых, что стали отдельным целостным направлением, хотя раньше традиционно рассматривались как неотъемлемая часть организационного аспекта в транспортно-логистических системах. Практически все сферы применения логистики подразумевают обязательную проработку их информационного, цифрового сопровождения.

Сферы применения цифровых технологий весьма разнообразны и многогранны. Это может быть цифровизация системы управления транспортным комплексом и его подсистемами (например, внутренним водным транспортом), сбора данных и контроля за работой отраслевых предприятий и организаций [40], использования интеллектуальных систем для мониторинга, исследований и прогноза изменений на рынке транспортных услуг [41].

Информационные технологии могут использоваться для создания единой информационной среды транспортного комплекса, позволяющей оперативно сводить заинтересованных в перевозках грузовладельцев и свободных, подходящих под требования транспортирования обусловленного груза перевозчиков, применения отдельных цифровых технологий [42].

Глобальный подход к цифровизации транспортного комплекса говорит о возможности (и существенных перспективах) создания информационной экосистемы, охватывающей все аспекты деятельности транспорта и смежных отраслей, приносящей положительные эффекты использования сквозных цифровых технологий. Также обращается внимание на невозможность использования «умных» судов, транспортной инфраструктуры, ремонтной и путевой базы без сопутствующего, а порой и опережающего развития цифровизации на транспорте [43].

Также можно выделить более узкое направление исследований, сосредоточивших внимание ученых на оптимизации и внедрении информационных технологий в отдельные транспортно-логистические процессы с целью их ускорения, повышения производительности и эффективности, что устраняет часть лимитирующих элементов и увеличивает надежность логистической системы, частью которой они являются [44-45].

Большое внимание уделяется использованию цифровых транспортных моделей в среде AnyLogic, Matlab и др. Полученные данные используются для разработки оптимизационных решений и моделирования с целью принятия решений связанных с модернизацией транспортной инфраструктуры [46] и поиску рентабельных маршрутов [47], проверке в среде моделирования Matlab систем управления движением для безэкипажных судов, позволяющих выполнять судам расхождение, обгоны, обхождение препятствий [48].

Рассматриваются вопросы, связанные со стратегическим планированием, аналитикой работы морской паромной компании в программной среде J-Circos, предоставлена возможность совмещения существующих сетей и предлагаемых новых маршрутов в едином информационном поле.

#### 6. Экологические и обеспечения транспортной безопасности.

Внимание к экологичности и безопасности, в том числе на транспорте, диктуется многими современными трендами, принимаемыми стратегиями развития транспортного комплекса, последними тенденциями в области «зеленой» логистики.

Применительно к сфере водного транспорта речь идет о сокращении выбросов углекислого газа и других загрязняющих веществ в процессе эксплуатации подвижного состава, работы инфраструктурных объектов, организации и предупреждения производства таких выбросов путем совершенствования транспортно-логистических схем и технологий, внедрения прогрессивных, безопасных и экологических типов транспортных средств и перегрузочной техники [49-50].

Часть работ посвящена анализу баз данных и оценке рисков при эксплуатации судов нефтью и нефтепродуктами на море и на внутренних водных путях [51]. В других оценка рисков рассматривается в процессе эксплуатации сухогрузных [52-53] или туристических судов [54].

Данные работы могут и должны учитываться при разработке и обосновании транспортно-логистических схем доставки, обосновании критериев эффективности в проектируемых транспортно-логистических системах.

#### 7. Нормативные, правовые.

Нормативно-правовое обеспечение логистической деятельности имеет важное значение в легитимизации и регламентации новых и перспективных подходов, критериев, процедур и особенностей организации и осуществления тех или иных технических, технологических, экономических, цифровых и экологических решений. Без этой составляющей многие мероприятия могут оказаться недостаточно эффективными или попросту не работать.

Нормативные акты могут дать возможность профинансировать создание и развитие транспортной инфраструктуры. Принятие закона о комбинированных (смешанных) перевозках и соответствующих правил перевозок позволит регламентировать и упорядочить взаимодействие, распределение ответственности и решение споров между участниками смешанных перевозок, а также учесть их специфические интересы и особенности работы в комбинированном сообщении. Также посредством различных нормативно-правовых актов возможно стимулировать и обеспечить внедрение «зеленых» логистических технологий [55], учесть при этом особый статус и нюансы обеспечения экологичности и безопасности перевозок по международным транспортным коридорам [56-57], обеспечивать безопасность плавания за счет разработки нормативных документов регламентирующих действий оптимизационного алгоритма [58].

#### 8. Подготовка кадров.

В связи с ростом информационных потоков для их обработки нужны соответствующие навыки. В связи с этим представляется своевременным рассмотрение вопросов, связанных переходом на цифровые технологии обучения. Перспективные цифровые технологии в подготовке кадров по логистике рассмотрены в работе [59], что нашло свое отражение во ВГУВТ в новой магистерской программе по ресурсоэффективной логистике, предусматривающей обучение с помощью программных продуктов AnyLogic и anyLogistix. Уделяется также большое внимание тренажерной подготовке, способствующей закреплению полученных теоретических навыков и отработке полученных навыков [60].

Еще одним актуальным вопросом является логистическая подготовка технических специалистов в целях оптимизации логистических производственных процессов в сфере судоремонта и судостроения [61].

По результатам анализа научных публикаций, посвященных рассмотрению и исследованию проблемных областей логистики на водном транспорте в современных условиях, авторами произведено обобщение и систематизация наиболее актуальных вопросов по различным аспектам, что показано на рис. 3.



Рис.3. Проблемы логистики на водном транспорте

### Обсуждение

Следует отметить, что отнесение того или иного вопроса к какому-то конкретному блоку (рис. 1) не означает обязательное замыкание исследования в рамках данного направления. Наоборот, как показано на рисунке, прослеживается четкая взаимосвязь различных аспектов между собой. Наиболее показательным в этом плане является организационный блок рассматриваемых проблем. Видно, что проработка и решение организационных вопросов влечет за собой необходимость также учета технологических (какие технологии будут применяться в новых или существующих транспортно-логистических системах при организации перевозок грузов и пассажиров), технических (какие транспортные средства и оборудование будет при этом использоваться, подходят ли они, существует ли необходимость в модернизации существующих или создании инновационных объектов), экономических (как будет осуществляться финансирование организуемых линий, тарифное регулирование перевозок, привлечение инвестиций), экологических (сокращение выбросов и учет «зеленой» повестки), нормативно-правовых (какими актами, правилами, регламентами будет регулироваться осуществление перевозочной деятельности, взаимодействие участников, распределение между ними обязанностей и ответственности, не тли правовых пробелов в данной области), информационных (с использованием каких сервисов будет осуществляться взаимодействие между участниками перевозочного процесса, возможно ли и какой эффект даст цифровизация заключения договоров, осуществления транспортно-логистических операций и процессов) факторов.

Для подтверждения данного утверждения приведем ряд примеров.

В комплексном исследовании [4] рассматривается политическое, экономическое и правовое значение международного транспортного коридора «Север-Юг». Авторы рассматривают геополитическое значение и перспективы развития торговых

отношений между странами благодаря развитию перевозок по указанному коридору (экономический аспект). При этом обращается внимание на необходимость привлечения транзитных грузов и инвесторов, а также потребность в развитии инфраструктуры на рассматриваемых направлениях перевозок, так как существующих отечественных портовых мощностей недостаточно для освоения перспективных внешнеторговых грузопотоков (организационный, экономический и технический аспекты). Привлечению дополнительных объемов грузов и инвесторов должно послужить создание льготного режима работы перевалочных пунктов и портовых терминалов, что следует регламентировать в соответствующих законодательных актах (нормативно-правовой аспект).

Решение вопроса организации взаимодействия различных видов транспорта при добыче и поставке нерудных строительных материалов [12] помимо явно прослеживающегося организационного аспекта можно выделить задачи, относящиеся к другим направлениям. Так, авторами рассматривается технология организации перевозок, различные схемы добычи и поставки нерудных строительных материалов (в порт водным транспортом, передача на автомобильный транспорт и доставка конечному получателю; перевозка в смешанном железнодорожно-водном сообщении и др. варианты). Естественно, особое внимание уделено организации взаимодействия между портами, судоходными компаниями, железнодорожными и автомобильными перевозчиками. Также предлагается методика оценки эффективности взаимодействия контрагентов (экономический аспект).

При разработке концепции формирования комбинированной транспортно-логистической инфраструктуры Сибири, Дальнего Востока и Арктической зоны [10] на первом этапе рассматривается значение данных регионов и их ресурсной базы для развития страны (экономический аспект), основные программные документы, регламентирующие стратегии и планы развития (нормативно-правовой аспект), особенности и проблемы в развитии транспортной инфраструктуры (технический аспект), обеспечения безопасности при строительстве объектов и осуществлении перевозок (безопасность), отсутствие или неразвитость, недоступность отдельных видов транспорта при объективной необходимости включения их в систему комбинированных перевозок (организационный аспект).

Организация грузовых и грузопассажирских скоростных воднотранспортных линий с использованием судов инновационного типа (судов на воздушной подушке и на подводных крыльях) имеет определенные перспективы, однако, как показано в [22], лишь при решении ряда вопросов. Необходимо определить с учетом прогрессивного отечественно и зарубежного опыта наиболее подходящие по характеристикам виды флота, конкретные проекты и модели (технический аспект), обосновать эффективные маршруты и схемы перевозок с участием не только водного, но и смежных видов транспорта, осуществляющих подвоз-отвоз грузов и пассажиров к пунктам отправления-прибытия (технологический аспект). Важными моментами является оптимизация взаимодействия с конкурирующими видами транспорта и стимулирование взаимовыгодного переключения части грузопотоков на новые транспортно-логистические схемы (организационный и экономический аспекты). Также необходима корректировка правил перевозки и ряда других актов, отдельные положения которых не соответствуют особенностям эксплуатации, например, судов на воздушной подушке, которые, в отличие от водоизмещающего флота речного транспорта, могут эксплуатироваться круглогодично (нормативно-правовой аспект).

Анализ научных разработок и исследований в области обеспечения региональных грузовых перевозок с участием водного транспорта [31] показывает, что имеется ряд разработок применительно к данной области: оптимизация взаимодействия различных видов транспорта в транспортно-логистической системе региона (организационный аспект); создание и совершенствование работы отдельных региональных инфраструктурных объектов (технический и технологический

аспекты); определение оптимальных схем доставки грузов по региону и в межрегиональном сообщении, необходимость оценки внутранспортных эффектов при обосновании проектов развития транспортной инфраструктуры регионов (экономический аспект).

Представленные примеры убедительно доказывают утверждение о том, что проблемные области логистики на водном и других видах транспорта тесно между собой взаимосвязаны. По сути, рассмотрение одного конкретного вопроса влечет за собой необходимость решения ряда сопутствующих задач из других областей, другими словами – комплексного подхода. Таким образом, если исследователь сосредотачивает свое внимание на одном аспекте (в силу направленности своих исследований, ограничения в имеющихся и выделенных на проведение исследования ресурсов, возможностей и т.д.), он тем самым создает возможности и потенциальную необходимость для проведения изысканий другими учеными по остальным аспектам.

Поэтому при изучении современных тенденций оценки эффективности организации цепей поставок была выявлена необходимость ориентироваться на экономическую целесообразность использования видов транспорта с учетом различных факторов (технологических, экономических и др.). Логистический подход при этом должен ориентироваться не на минимум издержек каждого логистического звена, а на максимум выгод (прибыли) по всем звеньям транспортно-логистической цепи поставок с учетом в том числе и комбинированных перевозок [62].

### **Заключение**

Логистика в современном мире отвечает на складывающиеся в обществе запросы и непрерывно развивается. Вместе с тем современные геополитические проблемы приводят не только к трансформации логистических цепочек, но и росту инфляции, цен на топливо, обостряют проблему снижения сроков доставки и роста стоимости перевозок, обостряют проблему инфраструктурных ограничений, угроз снижения безопасности перевозок и другие проблемы. Проведенный в данной работе обзор основных направлений исследований в области логистики водного транспорта показывает основные перспективные направления исследований в данной сфере: беспилотное судовождение и связанные с ним организационно-технические аспекты; использование современных цифровых технологий для анализа информации и принятия оптимальных решений в кратчайшие сроки с минимальными издержками; использование и развитие транспортных коридоров и связанные с этим технические, правовые и организационно-управленческие решения; развитие инфраструктурных проектов для их оптимального и быстрого запуска и обновления; повышение безопасности и экологичности перевозок.

### **Список литературы**

1. Левин, Б. А. Развитие транспортной логистики / Б. А. Левин, В. Я. Цветков // Наука и технологии железных дорог. – 2023. – Т. 7, № 1(25). – С. 3-9.
2. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 27 ноября 2021 № 3363-р [Электронный ресурс]. URL: <https://mintrans.gov.ru/file/473193> (дата обращения: 21.04.2023).
3. Домнина, О.Л. Влияние санкций на перевозку грузов / О.Л. Домнина // Транспорт. Горизонты развития. 2022: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2022. – Режим доступа: [http://вф-река-море.рф/2022/PDF/1\\_9.pdf](http://вф-река-море.рф/2022/PDF/1_9.pdf). (дата обращения 18.04.2023)
4. Корчагин, А.А. Политическое, экономическое, правовое значение транспортного коридора «Север-Юг». Экономика. Политика. Право / А.А. Корчагин, Н.Е. Шумовская, О.А. Харченко, И.В. Корчагина // Транспорт. Горизонты развития. 2022: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2022. – URL: [http://вф-река-море.рф/2022/PDF/7\\_13.pdf](http://вф-река-море.рф/2022/PDF/7_13.pdf) (дата обращения 18.04.2023)

5. Крайнова, В. В. Тренды развития экономики морского и речного транспорта в условиях пост-пандемии и новых санкций. Научные проблемы водного транспорта, 2022. - №73, с. 137-147. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.330>
6. Минеев, В. И., Иванов, В. М., Карташов, М. В. Перспективы развития транспорта Каспийского региона в эпоху перемен. Научные проблемы водного транспорта, 2022. - № 72, с. 121-133. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.290>
7. Курбатова, А.В. Транспортная логистика в обеспечении национальной безопасности страны / А.В. Курбатова, П.В. Метелкин // Актуализация транспортной стратегии России как необходимое условие обеспечения экономического прорыва и национальной безопасности страны на этапах геополитического противостояния. Коллективная монография. Часть I. – М.-Н.Новгород: ВГУВТ, 2023. – С. 143–156.
8. Бафанов, А. П. Методический подход к обоснованию экономической устойчивости операторов комбинированных пассажирских перевозок. Научные проблемы водного транспорта, 2022. - №72, с. 90-101. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.278>
9. Скобелева, И. П., Бунакова, Е. В., Котов, С. А. Финансово-инвестиционный потенциал интегрированных корпоративных структур на водном транспорте России. Научные проблемы водного транспорта, 2020. №61, с.72-86. извлечено от <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/article/view/20>
10. Актуализация транспортной стратегии России как необходимое условие обеспечения экономического прорыва и национальной безопасности страны на этапах геополитического противостояния : Коллективная монография: в 2-х частях / З. Б. Амирова, Л. Б. Аристова, Ю. М. Баженов [и др.]. – Нижний Новгород : Волжский государственный университет водного транспорта, 2023. –ч. 1. - 482 с.
11. Гончарова, Н. В. Анализ современного состояния перевозок минеральных удобрений и обоснование выбора транспортно-логистических систем доставки с участием внутреннего водного транспорта. Научные проблемы водного транспорта, 2022. - №73, с.173-184. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.279>
12. Жендарева, Е. С., Кадникова, Е. С., Гюнтер, А. В. Организация взаимодействия различных видов транспорта в производственно-транспортных процессах добычи и доставки нерудных строительных материалов . Научные проблемы водного транспорта, 2022. - №71. -с.110-121. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi71.261>
13. Фунтусов, А. А. Эффект снижения предельной интенсивности грузовой обработки транспортных средств при увеличении задействованного числа технологических линий. Научные проблемы водного транспорта, 2022. - №70. – с.171-188. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi70.243>
14. Karpenko, O., Horbenko, A., Vovk, Yu., & Tson, O. Research of the structure and trends in the development of the logistics market in Ukraine. Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 2017. - №2(2), 57-66. doi:10.14254/jsdtl.2017.2-2.5
15. Зарецкая, Е. В., Митрошин, С. Г. Многофункциональные грузопассажирские линии: предпосылки, история, перспектива и технологические особенности новых концептов. Научные проблемы водного транспорта, 2021. - №68. – с.120-133. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.208>
16. Логистика смешанных перевозок: монография / В.Н. Костров [и др.] ; под ред. В.Н. Кострова. Нижний Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. 124 с.
17. Методические подходы к обоснованию параметров комбинированных систем перевозок : монография / В.В. Цверов [и др.]. Нижний Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2016. – 152 с.
18. Обеспечение качества и эффективности перевозок сухих грузов речным транспортом в современных условиях : монография / А.И. Телегин [и др.] ; под ред. А.И. Телегина. Нижний Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – 132 с.
19. Волков, А. Н., Зуев, В. А. Технические показатели работы современных траулеров. Научные проблемы водного транспорта, 2021. №69, с.49-62. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi69.215>
20. Корепанов, А. Э., Роннов, Е. П. Обоснование главных размерений тримарана из условия пассажироместимости в задачах исследовательского проектирования. Научные проблемы водного транспорта, 2022. - №70. – с. 39-47. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi70.234>

21. Larina, I.V., Larin, A.N., Kiriliuk O., Ingaldi M. Green logistics - modern transportation process technology. Production engineering archives. 2021, 27(3), pp. 184-190. DOI:10.30657/pea.2021.27.24
22. Сустретов, С.В. Отечественный и зарубежный опыт разработок в области грузовых перевозок на судах инновационного типа / С.В. Сустретов // Транспорт. Горизонты развития. 2022: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2022. – Режим доступа: [http://вф-река-море.рф/2022/PDF/1\\_19.pdf](http://вф-река-море.рф/2022/PDF/1_19.pdf). (дата обращения 18.04.2023)
23. Зяблов, О. К., Алексеева, О. В., Алексеев, Ю. А. Обоснование принятия управленческих решений о модернизации сухогрузных теплоходов типа «Волга» на основании экспресс-анализа рыночной ситуации. Научные проблемы водного транспорта, 2021. - №69. – с. 63-80. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi69.218>
24. Васильева, О. Ю. Выбор эффективных судов по критерию предельной стоимости при эксплуатационном обосновании / О. Ю. Васильева, М. В. Никулина, Ю. И. Платов // Научные проблемы водного транспорта. – 2021. – № 68. – С. 172-181. – DOI 10.37890/jwt.vi68.207.
25. Майоров, Н. Н. Исследование вариантов обоснования модернизации инфраструктуры морского пассажирского порта для решения задачи прогнозирования его развития с учетом влияния внешней среды / Н. Н. Майоров, А. А. Добровольская // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2022. – Т. 14, № 5. – С. 701-712. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-5-701-712
26. Ничипорук, А. О., Карташова, О. И., Ганчеренок, И. И. (2022). Методика определения оптимального территориального размещения транспортно-логистических терминалов на речном транспорте. Научные проблемы водного транспорта, (73), 148-159. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.318>
27. Романова, С.А. Развитие транспортной инфраструктуры Арктики / С.А. Романова, О.Г. Севостьянова // Транспорт. Горизонты развития. 2022: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2022. – Режим доступа: [http://вф-река-море.рф/2022/PDF/1\\_18.pdf](http://вф-река-море.рф/2022/PDF/1_18.pdf). (дата обращения 18.04.2023)
28. Изотов, О. А. Изотов, О. А. Влияние развития внутренней логистики на режимы работы контейнерного терминала / О. А. Изотов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2022. – Т. 14, № 2. – С. 257-263. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-2-257-263.
29. Обоснование организации высокоскоростных водных перевозок пассажиров в Приволжском Федеральном округе / О. Л. Домнина, М. В. Иванов, С. Г. Митрошин, К. А. Исанин // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2018. – № 57. – С. 191-199.
30. Иванов, В. М., Репина, Д. А., Мосинцев, А. В. Эффективность проектов организации пассажирских перевозок на водном транспорте. Научные проблемы водного транспорта, 2021. №67. – с.79-93. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi67.193>
31. Карташова, О. И. Современное состояние и направления развития научно-методического обеспечения региональных грузовых перевозок с участием водного транспорта. Научные проблемы водного транспорта, 2022. - №73. – с.185-195. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.293>
32. Железнов, С. В. Оценка потенциала переключения части автомобильных контейнерных перевозок из морских портов на внутренний водный транспорт / С. В. Железнов, А. А. Лисин, Ю. Н. Уртминцев // Научные проблемы водного транспорта. – 2022. – № 72. – С. 180-188. – DOI 10.37890/jwt.vi72.280.
33. Никитина, А.Ю. Обоснование целесообразности переключения части железнодорожных грузопотоков на смешанное железнодорожно-водное сообщение / А.Ю. Никитина, Ю.Н. Уртминцев // Транспорт. Горизонты развития. 2022: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2022. – Режим доступа: [http://вф-река-море.рф/2022/PDF/1\\_15.pdf](http://вф-река-море.рф/2022/PDF/1_15.pdf). (дата обращения 18.04.2023)
34. Шаповалова, М. А. Имитационное моделирование системы взаимоотношений участников транспортно-логистического процесса на морском грузовом терминале / М. А. Шаповалова, А. Д. Семенов // Вестник государственного университета морского

- и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2022. – Т. 14, № 3. – С. 336-345. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-3-336-345
35. Сеницын, М. Г. Принцип оптимизации схем доставки грузов на притоки магистральных рек в восточных бассейнах / М. Г. Сеницын // Речной транспорт (XXI век). – 2018. – № 1(85). – С. 38-39.
  36. Сеницын, М. Г. Методика обоснования системы завоза грузов на малые реки / М. Г. Сеницын // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2018. – № 54. – С. 142-149.
  37. Тимошек, Е. С. Оптимизация процесса обработки транспортных судов на рейде средствами линейного программирования MATLAB / Е. С. Тимошек, Т. Е. Маликова // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2021. – Т. 13, № 6. – С. 771-781. – DOI 10.21821/2309-5180-2021-13-6-771-781.
  38. Изотов, О. А. Анализ контейнерного грузораспределения отправки сборных партий из морского порта / О. А. Изотов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2022. – Т. 14, № 1. – С. 87-92. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-1-87-92.
  39. Галин, А. В. Модель оптимизации линейных маршрутов на основе генетического алгоритма / А. В. Галин, А. С. Малыхин // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2021. – Т. 13, № 4. – С. 530-538. – DOI 10.21821/2309-5180-2021-13-4-530-538.
  40. Ганчеренок, И. И., Горбачев, Н. Н., Ничипорук, А. О., Шумовская, Н. Е., Харченко, О. А. Проблемы цифровизации внутреннего водного транспорта. Научные проблемы водного транспорта, 2022. № 70. – с. 110-124. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi70.233>
  41. Альпидовский, А.Д. Применение интеллектуальных технологий на водном транспорте / А.Д. Альпидовский // Транспорт. Горизонты развития. 2021: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2021. – Режим доступа: [http://вф-река-море.рф/2021/1\\_1.pdf](http://вф-река-море.рф/2021/1_1.pdf). (дата обращения 18.04.2023)
  42. Forecast of digital technologies development in transport logistics (in English) / O. L. Domnina, V. V. Tsvetov, A. A. Lisin, O. V. Chuvilina // Marine intellectual technologies. – 2019. – No. 4-2(46). – P. 173-180
  43. Классовская, М. И. Построение процессно-ориентированной системы управления транспортным предприятием в условиях цифровизации экономики. Научные проблемы водного транспорта, 2022. - №73.- 124-136. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.321>
  44. Домнина, О. Л. Концепция применения технологии блокчейн в транспортной логистике / О. Л. Домнина, А. В. Курманов, М. Н. Фомичев // Экономика и предпринимательство. – 2018. – № 6(95). – С. 1156-1163
  45. Уставщиков, И. В. Совершенствование нормирования ходового времени и расхода топлива для речных судов в условиях цифровизации. Научные проблемы водного транспорта, 2020. - №64. – с.186-192. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi64.110>
  46. Мазуренко, О. И. Дискретно-событийное имитационное моделирование склада морского угольного терминала в среде Anylogic / О. И. Мазуренко, И. А. Русинов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2022. – Т. 14, № 2. – С. 181-198. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-2-181-198.
  47. Чертков, А. А. Автоматизация поиска маршрутов рентабельных грузоперевозок средствами целочисленного программирования MATLAB / А. А. Чертков, Я. Н. Каск, С. В. Сабуров // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2021. – Т. 13, № 4. – С. 496-504. – DOI 10.21821/2309-5180-2021-13-4-496-504.
  48. Пушкарев, И. И. Система управления движением и расхождением безэкипажного судна в соответствии с МППСС-72 / И. И. Пушкарев // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2022. – Т. 14, № 6. – С. 837-848. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-6-837-848.
  49. Наумов, В.С., Кочнева, И. Б. Анализ экологических аспектов эксплуатации судов в навигационный период. Научные проблемы водного транспорта, 2022. - №72. – с. 267-273. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.302>

50. Снижение экологической нагрузки на водном транспорте за счет применения фандоматов / М. Ю. Кочеткова, Д. Е. Архипов, А. Н. Бородин, А. Е. Пластинин // Проблемы безопасности на транспорте : Материалы XII Международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию Белорусской железной дороги. В 2-х частях, Гомель, 24–25 ноября 2022 года / Под общей редакцией Ю.И. Кулаженко. Том Часть 1. – Гомель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет транспорта", 2022. – С. 258-259.
51. Оценка опасности и локализация пожаров разлива нефтепродуктов на водных объектах / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин, Н. И. Волкова, А. Д. Шапошников // Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – № 2-1(56). – С. 269-278. – DOI 10.37220/МИТ.2022.562.035.
52. Домнина, О. Л. Оценка риска экологических и эксплуатационных последствий от транспортных происшествий с сухогрузными судами (на примере Волжского бассейна) / О. Л. Домнина // Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – № 2-1(56). – С. 218-225. – DOI 10.37220/МИТ.2022.56.2.029.
53. Домнина, О. Л. Оценка риска экологических последствий от транспортных происшествий с сухогрузными судами на примере Волжского бассейна / О. Л. Домнина // Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – Т. 1, № 1(55). – С. 187-193. – DOI 10.37220/МИТ.2022.55.1.025.
54. Экологическое обеспечение водного туризма / В. И. Решняк, О. Л. Домнина, А. Е. Пластинин, Н. С. Отделкин // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 4-2(46). – С. 154-160.
55. Сухарев, Д.Н. Организационно-экономические и правовые аспекты комплексной безопасности функционирования внутреннего водного транспорта / Д.Н. Сухарев, А.В. Федюшин, В.Н. Бутченко // Транспорт. Горизонты развития. 2022: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2022. – Режим доступа: [http://вф-река-море.рф/2022/PDF/7\\_25.pdf](http://вф-река-море.рф/2022/PDF/7_25.pdf). (дата обращения 18.04.2023)
56. Королева, В.В. Международно-правовое регулирование экологического надзора на морском водном транспорте прикаспийских государств / В.В. Королева, М.М. Бичарова // Транспорт. Горизонты развития. 2022: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2022. – Режим доступа: [http://вф-река-море.рф/2022/PDF/7\\_12.pdf](http://вф-река-море.рф/2022/PDF/7_12.pdf). (дата обращения 18.04.2023)
57. Крепак, С.В. Правовые аспекты экологической безопасности судоходства на северном морском пути / С.В. Крепак, О.М. Пинаева // Транспорт. Горизонты развития. 2021: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2021. – Режим доступа: [http://вф-река-море.рф/2021/7\\_11.pdf](http://вф-река-море.рф/2021/7_11.pdf). (дата обращения 18.04.2023)
58. Алешин, А. А. Применение метода оптимизации маршрута судна в ледовых условиях с точки зрения системы управления безопасностью / А. А. Алешин, С. С. Кубрин // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2022. – Т. 14, № 4. – С. 546-554. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-4-546-554
59. Цифровые технологии в образовательных программах вуза: опыт и развитие / В. Н. Костров, Д. А. Коршунов, А. О. Ничипорук, О. Л. Домнина // Транспорт. Горизонты развития : Труды 1-го Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород - Новосибирск, 25–28 мая 2021 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО "ВГУВТ"), 2021. – С. 63.
60. Масленников, С. Н. Инновационные технологии подготовки специалистов по управлению на речном транспорте / С. Н. Масленников, М. Г. Сеницын // Научные проблемы водного транспорта. – 2022. – № 71. – С. 169-179. – DOI 10.37890/jwt.vi.71.270.
61. Пашеева, Т. Ю., & Пономаренко, Д. А. Повышение эффективности ремонта судов путем совершенствования технической подготовки судоремонтного производства. Научные проблемы водного транспорта, 2021. - №66. – с.53-61. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi66.154>
62. Организация и методы транспортно-логистического обеспечения комбинированных перевозок : учебно-методическое пособие / Д.А. Коршунов, В.Н. Костров, В.Н.

Бутченко, О.Л. Домнина, С.В. Костров, А.О. Ничипорук [и др.] // под общ. ред. проф., д.э.н. В.Н. Кострова. – Н. Новгород : Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2023. – 208 с.

#### References

1. Levin, B. A. Development of transport logistics / B. A. Levin, V. Ya. Tsvetkov // Science and technology of railways. – 2023. – Vol. 7, No. 1(25). – pp. 3-9.
2. Transport strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035. Decree of the Government of the Russian Federation No. 3363-r dated November 27, 2021 [Electronic resource]. URL: <https://mintrans.gov.ru/file/473193> (accessed: 04/21/2023).
3. Domnina, O.L. The impact of sanctions on the transportation of goods / O.L. Domnina // Transport. Horizons of development. 2022: Materials of the International scientific and practical forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2022. – Access mode: [http://вф-река-море.rf/2022/PDF/1\\_9.pdf](http://вф-река-море.rf/2022/PDF/1_9.pdf). (accessed 18.04.2023)
4. Korchagin, A.A. Political, economic, legal significance of the transport corridor "North-South". Economy. Politics. Pravo / A.A. Korchagin, N.E. Shumovskaya, O.A. Kharchenko, I.V. Korchagina // Transport. Horizons of development. 2022: Materials of the international scientific and practical forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2022. – URL: [http://вф-река-море.rf/2022/PDF/7\\_13.pdf](http://вф-река-море.rf/2022/PDF/7_13.pdf) (accessed 18.04.2023)
5. Krainova, V. V. Trends in the development of the economy of sea and river transport in the post-pandemic and new sanctions. Scientific problems of water transport, 2022. - No. 73, pp. 137-147. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.330>
6. Mineev, V. I., Ivanov, V. M., Kartashov, M. V. Prospects for the development of transport in the Caspian region in the era of change. Scientific problems of water transport, 2022. - No. 72, pp. 121-133. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.290>
7. Kurbatova, A.V. Transport logistics in ensuring the national security of the country / A.V. Kurbatova, P.V. Metelkin // Actualization of the transport strategy of Russia as a necessary condition for ensuring an economic breakthrough and national security of the country at the stages of geopolitical confrontation. Collective monography. Part I. – M.-N.Novgorod: VGUVT, 2023. – pp. 143-156.
8. Bafanov, A. P. Methodological approach to substantiating the economic sustainability of combined passenger transport operators. Scientific problems of water transport, 2022. - No. 72, pp. 90-101. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.278>
9. Skobeleva, I. P., Bunakova, E. V., Kotov, S. A. Financial and investment potential of integrated corporate structures in Russian water transport. Scientific problems of water transport, 2020. No. 61, pp.72-86. retrieved from <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/article/view/20>
10. Actualization of the transport strategy of Russia as a necessary condition for ensuring an economic breakthrough and national security of the country at the stages of geopolitical confrontation : A collective monograph: in 2 parts / Z. B. Amirova, L. B. Aristova, Yu. M. Bazhenov [et al.]. - Nizhny Novgorod : Volga State University of Water Transport, 2023. – part I. - 482 p.
11. Goncharova, N. V. Analysis of the current state of mineral fertilizers transportation and justification of the choice of transport and logistics delivery systems involving inland waterway transport. Scientific problems of water transport, 2022. - No. 73, pp.173-184. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.279>
12. Zhendareva, E. S., Kadnikova, E. S., Gunter, A.V. Organization of interaction of various modes of transport in production and transport processes of extraction and delivery of non-metallic building materials. Scientific problems of water transport, 2022. - No. 71. -pp.110-121. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi71.261>
13. Funtusov, A. A. The effect of reducing the maximum intensity of cargo handling of vehicles with an increase in the number of technological lines involved. Scientific problems of water transport, 2022. - No. 70. – pp.171-188. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi70.243>
14. Karpenko, O., Horbenko, A., Vovk, Yu., & Tson, O. Research of the structure and trends in the development of the logistics market in Ukraine. Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 2017. - №2(2), 57-66. doi:10.14254/jsdtl.2017.2-2.5

15. Zaretskaya, E. V., Mitroshin, S. G. Multifunctional cargo and passenger lines: prerequisites, history, perspective and technological features of new concepts. *Scientific problems of water transport*, 2021. - No. 68. – pp.120-133. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.208>
16. Logistics of mixed transportation: monograph / V.N. Kostrov [et al.]; edited by V.N. Kostrov. Nizhny Novgorod: Publishing House of the Federal State Educational Institution "VGUVT", 2020. 124 p.
17. Methodological approaches to substantiating the parameters of combined transfer systems: monograph / V.V. Tsverov [et al.]. Nizhny Novgorod: Publishing House of the Federal State Educational Institution "VGUVT", 2016. – 152 p.
18. Ensuring the quality and efficiency of dry cargo transportation by river transport in modern conditions: monograph / A.I. Telegin [et al.]; edited by A.I. Telegin. Nizhny Novgorod: Publishing House of the Federal State Educational Institution "VGUVT", 2020. – 132 p.
19. Volkov, A. N., Zuev, V. A. Technical performance indicators of modern trawlers. *Scientific problems of water transport*, 2021. No.69, pp.49-62. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi69.215>
20. Korepanov, A. E., Ronnov, E. P. Substantiation of the main dimensions of the trimaran from the passenger capacity condition in the tasks of research design. *Scientific problems of water transport*, 2022. - No. 70. – pp. 39-47. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi70.234>
21. Larina, I.V., Larin, A.N., Kiriliuk O., Ingaldi M. Green logistics - modern transportation process technology. *Production engineering archives*. 2021, 27(3), pp. 184-190. DOI:10.30657/pea.2021.27.24
22. Sustretov, S.V. Domestic and foreign experience of developments in the field of cargo transportation on innovative type vessels / S.V. Sustretov // *Transport. Horizons of development*. 2022: Materials of the International scientific and practical forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2022. – Access mode: [http://вф-пека-море .rf/2022/PDF/1\\_19.pdf](http://вф-пека-море .rf/2022/PDF/1_19.pdf). (date of notification 18.04.2023)
23. Zyablov, O. K., Alekseeva, O. V., Alekseev, Yu. A. Justification of managerial decisions on modernization of Volga-type dry cargo ships based on ex-press analysis of the market situation. *Scientific problems of water transport*, 2021. - No. 69. – pp. 63-80. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi69.218>
24. Vasilyeva, O. Yu. The choice of efficient vessels by the criterion of marginal cost for operational justification / O. Yu. Vasilyeva, M. V. Nikulina, Yu. I. Platov // *Scientific problems of water transport*. – 2021. – No. 68. – pp. 172-181. – DOI 10.37890/jwt.vi68.207.
25. Mayorov, N. N. Investigation of options for justifying the modernization of the infrastructure of a sea passenger port to solve the problem of forecasting its development taking into account the influence of the external environment / N. N. Mayorov, A. A. Dobrovolskaya // *Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov*. – 2022. – Vol. 14, No. 5. – pp. 701-712. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-5-701-712
26. Nichiporuk, A. O., Kartashova, O. I., Gancherenok, I. I. (2022). Methodology for determining the optimal territorial location of transport and logistics terminals on river transport. *Scientific problems of water transport*, (73), 148-159. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.318>
27. Romanova, S.A. Development of the transport infrastructure of the Arctic / S.A. Romanova, O.G. Sevostyanova // *Transport. Horizons of development*. 2022: Materials of the International scientific and practical forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2022. – Access mode: [http://вф-пека-море .rf/2022/PDF/1\\_18.pdf](http://вф-пека-море .rf/2022/PDF/1_18.pdf). (accessed 18.04.2023)
28. Izotov, O. A. Izotov, O. A. The impact of the development of internal logistics on the modes of operation of the container terminal / O. A. Izotov // *Bulletin of the Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet*. – 2022. – Vol. 14, No. 2. – pp. 257-263. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-2-257-263.
29. Justification of the organization of high-speed water transportation of passengers in the Volga Federal District / O. L. Domnina, M. V. Ivanov, S. G. Mitroshin, K. A. Isanin // *Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport*. – 2018. – No. 57. – pp. 191-199.
30. Ivanov, V. M., Repina, D. A., Mosintsev, A.V. Efficiency of passenger transportation organization projects on water transport. *Scientific problems of water transport*, 2021. No. 67. – pp.79-93. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi67.193>
31. Kartashova, O. I. The current state and directions of development of scientific and methodological support for regional freight transport involving water transport. *Scientific*

- problems of water transport, 2022. - No.73. - pp.185-195. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.293>
32. Zheleznov, S. V. Assessment of the potential of switching a part of automobile container transportation from seaports to inland waterway transport / S. V. Zheleznov, A. A. Lisin, Yu. N. Urtmintsev // Scientific problems of water transport. – 2022. – No. 72. – pp. 180-188. – DOI 10.37890/jwt.vi72.280.
  33. Nikitina, A.Yu. Justification of the expediency of switching part of the railway freight traffic to a mixed rail-water communication / A.Yu. Nikitina, Yu.N. Urtmintsev // Transport. Horizons of development. 2022: Materials of the International scientific and practical forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2022. – Access mode: [http://вф-река-море.rf/2022/PDF/1\\_15.pdf](http://вф-река-море.rf/2022/PDF/1_15.pdf). (accessed 18.04.2023)
  34. Shapovalova, M. A. Simulation modeling of the system of mutual relations of participants in the transport and logistics process at the sea cargo terminal / M. A. Shapovalova, A.D. Semenov // Bulletin of the Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet. – 2022. – Vol. 14, No. 3. – pp. 336-345. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-3-336-345
  35. Sinitsyn, M. G. The principle of optimizing cargo delivery schemes to tributaries of main rivers in eastern basins / M. G. Sinitsyn // River transport (XXI century). – 2018. – № 1(85). – Pp. 38-39.
  36. Sinitsyn, M. G. Methodology for substantiating the system of cargo delivery to small rivers / M. G. Sinitsyn // Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport. – 2018. – No. 54. – pp. 142-149.
  37. Timoshek, E. S. Optimization of the processing of transport vessels on the roadstead by means of linear programming MATLAB / E. S. Timoshek, T. E. Malikova // Bulletin of the Admiral S.O. Makarov State University of the Sea and River Fleet. – 2021. – Vol. 13, No. 6. – pp. 771-781. – DOI 10.21821/2309-5180-2021-13-6-771-781.
  38. Izotov, O. A. Analysis of container cargo distribution of shipments of combined batches from the seaport / O. A. Izotov // Bulletin of the Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet. – 2022. – Vol. 14, No. 1. – pp. 87-92. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-1-87-92.
  39. Galin, A.V. Model of optimization of linear routes based on genetic algorithm / A.V. Galin, A. S. Malykhin // Bulletin of the Admiral S.O. State University of Marine and River Fleet. Makarov. – 2021. – Vol. 13, No. 4. – pp. 530-538. – DOI 10.21821/2309-5180-2021-13-4-530-538.
  40. Gancherenok, I. I., Gorbachev, N. N., Nichiporuk, A. O., Shumovskaya, N. E., Kharchenko, O. A. Problems of digitalization of inland waterway transport. Scientific problems of water transport, 2022. No. 70. – pp. 110-124. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi70.233>
  41. Alpidovsky, A.D. Application of intelligent technologies on water transport / A.D. Alpidovsky // Transport. Horizons of development. 2021: Materials of the international scientific and practical forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2021. – Access mode: [http://вф-река-море.rf/2021/1\\_1.pdf](http://вф-река-море.rf/2021/1_1.pdf). (accessed 18.04.2023)
  42. Forecast of digital technologies development in transport logistics (in English) / O. L. Domnina, V. V. Tsverov, A. A. Lisin, O. V. Chuvilina // Marine intellectual technologies. – 2019. – No. 4-2(46). – P. 173-180
  43. Klassovskaya, M. I. Building a process-oriented management system of a transport enterprise in the conditions of digitalization of the economy. Scientific problems of water transport, 2022. - №73.- 124-136. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.321>
  44. Domnina, O. L. The concept of using blockchain technology in transport logic / O. L. Domnina, A.V. Kurmanov, M. N. Fomichev // Economics and entrepreneurship. – 2018. – № 6(95). – Pp. 1156-1163
  45. Ustavshchikov, I. V. Improving the rationing of running time and fuel consumption for river vessels in the conditions of digitalization. Scientific problems of the water transport, 2020. - No. 64. – pp.186-192. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi64.110>
  46. Mazurenko, O. I. Discrete-event simulation of the warehouse of the sea coal terminal in the Anylogic environment / O. I. Mazurenko, I. A. Rusinov // Bulletin of the Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet. – 2022. – Vol. 14, No. 2. – pp. 181-198. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-2-181-198.
  47. Chertkov, A. A. Automation of the search for routes of cost-effective cargo transportation by means of integer programming MATLAB / A. A. Chertkov, Ya. N. Kask, S. V. Saburov //

- Bulletin of the State University of Marine and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov. – 2021. – Vol. 13, No. 4. – pp. 496-504. – DOI 10.21821/2309-5180-2021-13-4-496-504.
48. Pushkarev, I. I. Control system for the movement and divergence of an unmanned vessel in accordance with MPPSS-72 / I. I. Pushkarev // Bulletin of the Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet. - 2022. – Vol. 14, No. 6. – pp. 837-848. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-6-837-848.
  49. Naumov, V.S., Kochneva, I. B. Analysis of environmental aspects of ship operation during the navigation period. Scientific problems of water transport, 2022. - No. 72. – pp. 267-273. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.302>
  50. Reducing the environmental burden on water transport through the use of fathom mats / M. Yu. Kochetkova, D. E. Arkhipov, A. N. Borodin, A. E. Plastinin // Problems of transport safety: Materials of the XII International Scientific and Practical Conference dedicated to the 160th anniversary of the Belarusian Railway. In 2 parts, Gomel, November 24-25, 2022 / Under the general editorship of Yu.I. Kulazhenko. Volume Part 1. – Gomel: Educational Institution "Belarusian State University of Transport", 2022. – pp. 258-259.
  51. Hazard assessment and localization of oil spill fires on water objects / V. S. Naumov, A. E. Plastinin, N. I. Volkova, A.D. Shaposhnikov // Marine intellectual technologies. – 2022. – № 2-1(56). – Pp. 269-278. – DOI 10.37220/MIT.2022.562.035.
  52. Domnina, O. L. Risk assessment of environmental and operational consequences from transport accidents with dry cargo vessels (on the example of the Volga basin) / O. L. Domnina // Marine intelligent technologies. – 2022. – № 2-1(56). – Pp. 218-225. – DOI 10.37220/MIT.2022.56.2.029.
  53. Domnina, O. L. Assessment of the risk of environmental consequences from transport accidents with dry cargo vessels on the example of the Volga basin / O. L. Domnina // Marine intelligent technologies. – 2022. – Vol. 1, No. 1(55). – pp. 187-193. – DOI 10.37220/MIT.2022.55.1.025.
  54. Ecological support of water tourism / V. I. Reshnyak, O. L. Domnina, A. E. Plastinin, N. S. Otdelkin // Marine intelligent technologies. – 2019. – № 4-2(46). – Pp. 154-160.
  55. Sukharev, D.N. Organizational, economic and legal aspects of complex safety of functioning of inland water transport / D.N. Sukharev, A.V. Fe-dyushin, V.N. Butchenko // Transport. Horizons of development. 2022: Materials of the International scientific and practical forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2022. – Access mode: [http://вф-пека-мопе.rf/2022/PDF/7\\_25.pdf](http://вф-пека-мопе.rf/2022/PDF/7_25.pdf) (accessed 18.04.2023)
  56. Koroleva, V.V. International legal regulation of environmental supervision on marine water transport of the Caspian states / V.V. Koroleva, M.M. Bicharova // Transport. Horizons of development. 2022: Materials of the International scientific and practical forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2022. – Access mode: [http://вф-пека-мопе.rf/2022/PDF/7\\_12.pdf](http://вф-пека-мопе.rf/2022/PDF/7_12.pdf) (accessed 18.04.2023)
  57. Krepak, S.V. Legal aspects of environmental safety of navigation on the Northern Sea route / S.V. Krepak, O.M. Pinaeva // Transport. Horizons of development. 2021: Materials of the International Scientific and practical forum. FGBOU VO "VGUVT". – 2021. – Access mode: [http://вф-пека-мопе.rf/2021/7\\_11.pdf](http://вф-пека-мопе.rf/2021/7_11.pdf) (accessed 18.04.2023)
  58. Aleshin, A. A. Application of the ship route optimization method in ice conditions from the point of view of the safety management system / A. A. Aleshin, S. S. Kubrin // Bulletin of the Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet. – 2022. – Vol. 14, No. 4. – pp. 546-554. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-4-546-554
  59. Digital technologies in university educational programs: experience and development / V. N. Kostrov, D. A. Korshunov, A. O. Nichiporuk, O. L. Domnina // Transport. Horizons of Development : Proceedings of the 1st International Scientific and Industrial Forum, Nizhny Novgorod - Novosibirsk, May 25-28, 2021. – Nizhny Novgorod: Volga State University of Water Transport (VSUVT), 2021. – p. 63.
  60. Maslennikov, S. N. Innovative technologies for training specialists in river transport management / S. N. Maslennikov, M. G. Sinitsyn // Scientific problems of water transport. – 2022. – No. 71. – pp. 169-179. – DOI 10.37890/jwt.vi.71.270.
  61. Pasheeva, T. Yu., & Ponomarenko, D. A. Improving the efficiency of ship repair by improving the technical preparation of ship repair production. Scientific problems of water transport, 2021. - No. 66. – pp.53-61. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi66.154>

62. Organization and methods of transport and logistics support of combined transportation : an educational and methodological manual / D.A. Korshunov, V.N. Kostrov, V.N. Butchenko, O.L. Domnina, S.V. Kostrov, A.O. Nichiporuk [et al.] // under the general editorship of prof., Doctor of Economics V.N. Kostrov. – N. Novgorod : Publishing house of the FGBOU VGUVT, 2023. – 208 p.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Домнина Ольга Леонидовна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Н.Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: o-domnina@yandex.ru

**Костров Владимир Николаевич**, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: vnkostrov@yandex.ru

**Ничипорук Андрей Олегович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г.Нижний Новгород, ул.Нестерова, 5, e-mail: nichiporouk@rambler.ru

**Olga L. Domnina**, Ph.D.(Eng), assistant professor, Associate Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, Nesterovast., 5, N. Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: o-domnina@yandex.ru

**Vladimir N. Kostrov**, Doctor of Economics, Professor, Head of Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, Nesterova, 5, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: vnkostrov@yandex.ru

**Andrey O. Nichiporuk**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail: nichiporouk@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 15.05.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 15.05.2023; published online 20.09.2023.

УДК 339.13.027.2  
DOI: 10.37890/jwt.vi76.381

## **Российский международный реестр судов как фактор развития экономики страны**

**С.Г. Митрошин**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9880-6720>

**В.И. Минеев**

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

**Ю.Н. Уртминцев**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4534-4347>

**А.А. Лисин**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8607-9263>

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

**Аннотация.** Для России возврат флота под национальный флаг имеет стратегическое значение. В начале 2000-х годов сокращение количества судов, зарегистрированных под российским флагом, приняло угрожающий характер для транспортной и экономической безопасности государства. Российский морской транспортный флот в большинстве своем работал под иностранными флагами. При этом в оффшор выводились относительно новые суда, а под российским флагом оставались малоэффективные возрастные суда. В этих условиях иностранные фрахтователи перехватили значительную часть перевозок российских грузов, вытеснив тем самым российский флот. Изменить ситуацию в судоходстве и вернуть флот под российский флаг стало возможным в результате регулирования кредитно-денежных отношений, таможенного и налогового законодательства. Рассмотрены особенности и причины популярности «удобных» флагов. Проанализированы меры государственной поддержки судостроения и судоходства, способствующие возврату российских судовладельцев под национальный флаг в контексте функционирования Российского международного реестра судов (РМРС). Проведен анализ структуры флота в Реестре и тенденций её изменения. Определена эффективность мер государственной поддержки отечественного судоходства и судостроения.

**Ключевые слова:** судоходство, система «удобных» флагов, меры государственной поддержки, повышение конкурентоспособности водного транспорта, Российский международный реестр судов, эффективность государственных мер поддержки судоходства.

## **Russian International Register of Vessels as a Development Factor country's economy**

**Sergei G. Mitroshin**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9880-6720>

**Valery I. Mineev**

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

**Yuri N. Urtmintsev**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4534-4347>

**Alexander A. Lisin**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8607-9263>

*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** For Russia, the return of the fleet under the national flag is of strategic importance. In the early 2000s, the reduction in the number of ships registered under the Russian flag became threatening to the transport and economic security of the state. The Russian maritime transport fleet, for the most part, operated under foreign flags. At the same time, relatively new vessels were taken offshore, and inefficient age-old vessels remained under the Russian flag. Under these conditions, foreign charterers intercepted a significant part of the transportation of Russian cargo, thereby displacing the Russian fleet. It became possible to change the situation in shipping and return the fleet under the Russian flag as a result of the regulation of monetary relations, customs and tax legislation. The features and reasons for the popularity of "convenient" flags are considered. Measures of state support for shipbuilding and shipping are analyzed, which contribute to the return of Russian shipowners to the national flag in the context of the functioning of the Russian International Register of Ships (RMRS). The analysis of the structure of the fleet in the Register and the trends in its change was carried out. The effectiveness of state support measures for domestic shipping and shipbuilding has been determined.

**Keywords.** Shipping, flags of convenience, state support measures, increasing the competitiveness of water transport, the Russian International Register of Vessels, the effectiveness of state measures to support shipping.

### **Введение**

История возникновения регистрации судов под флагом не своей страны уходит своими корнями аж в XVI век. И несмотря на ограничительные меры, принимаемые как отдельными государствами, так и мировым сообществом в целом система «удобных» флагов продолжает развиваться, позволяя судовладельцам выбирать флаг той страны, законы которой их устраивают в плане предоставления преференций и налоговых льгот.

Необходимо отметить, что на начальных этапах возникновения регистрация судов под флагом другой страны преследовала лишь одну цель – создание благоприятных условий для их работы на рынках, находящихся под контролем другой страны. И только с 20-30 годов XX века открытая регистрация стала массовой и получила современную направленность.

Начало XXI века ознаменовано новым этапом функционирования офшорного бизнеса, характеризующегося уменьшением межстрановых барьеров. Офшоры остаются привлекательными для многих судоходных компаний и корпораций, что способствует росту флотов под «удобными» флагами. По данным ЮНКАД доля судовладельцев, предпочитающих регистрацию компаний в третьих странах из года в год увеличивается [1]. В итоге к 2014 году лидерами среди стран, имеющих флот с точки зрения флага регистрации, оказались Панама, Либерия, Маршалловы Острова, Гонконг (Китай) и Сингапур. В этих странах сосредоточено 56,5% мирового флота (Рис.1), и зачастую флаг, который несет судно никакого отношения к национальности судовладельца не имеет, а определяет национальность лишь самого судна. Судовладелец и тем более его компания, могут находиться под юрисдикцией разных стран. Конференция ООН по торговле и развитию в своем обзоре отмечает, что почти 12% мирового флота принадлежит лицам, чьи национальности не совпадают с национальностями их компаний [1].

Анализ флота, зарегистрированного в офшорных компаниях, позволяет сделать вывод о том, что есть определенная приверженность стран к тем или иным «удобным» флагам. Так Япония, Китай, Республика Корея предпочитают Панамский флаг, в то время как Германия, Греция, Россия, Саудовская Аравия предпочитают Либерийский флаг. При этом под Панамским флагом сосредоточены в основном балкеры, а под Либерийским контейнеровозы.

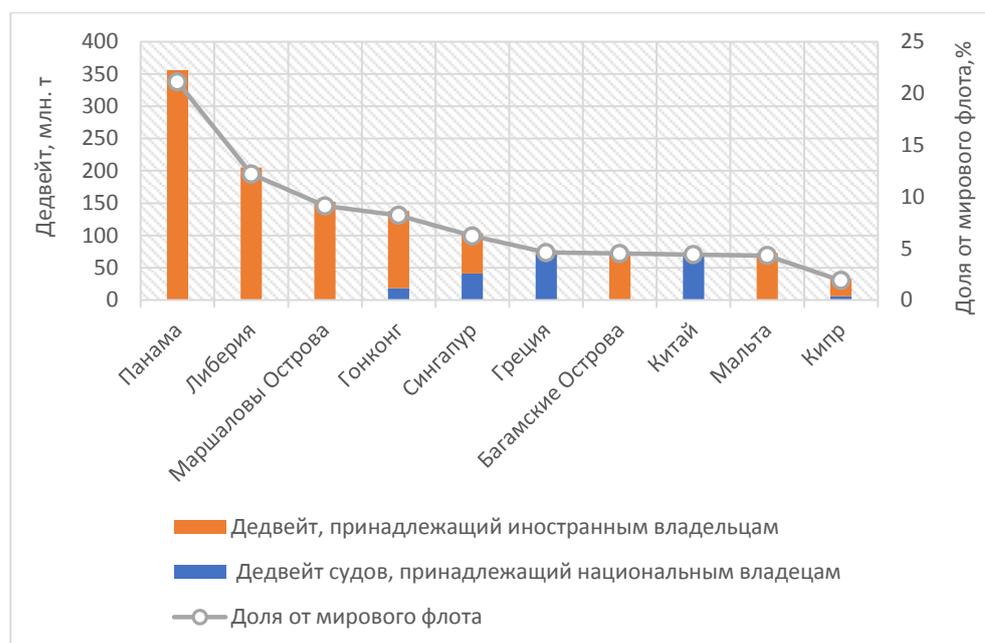


Рис. 1. Десять стран с наиболее крупным зарегистрированным флотом.  
Источник: ЮНКАД

По мнению экспертов, политика «запрета» офшоров может спровоцировать кризис на мировом фрахтовом рынке в результате чего цены на морские перевозки могут многократно увеличиться. Очевидно, что это не тот путь, по которому необходимо идти мировому сообществу в борьбе с «удобными» флагами. Практика показала, что и «закручивание гаек» со стороны ряда стран также не принесла ощутимых результатов в борьбе с этим явлением, поскольку офшорный бизнес в качестве ответных мер использует новые схемы ухода от налогов и сокрытия имен судовладельцев.<sup>2</sup>

### Материалы и методы

В работе использовались следующие методы: контент-анализ, метод группировок и сравнительного анализа, метод индексного анализа и ряд других методов статистического анализа и прогнозирования.

Объектом данного исследования являются результаты применения мер государственной поддержки судоходства и судостроения, направленных на стимулирование российских судовладельцев к обновлению флота и повышению его конкурентоспособности на мировом фрахтовом рынке в контексте функционирования Российского международного реестра судов.

Борьба с «удобными» флагами ведется как на глобальном (Конвенция 1984 г. об условиях регистрации судов), так и национальном уровнях (создание более благоприятных условий для своих судовладельцев).

На национальном уровне особый подход к сохранению судов под национальным флагом предложила в 1987 году Норвегия, создав так называемый второй или международный реестр. Позднее Дания, Германия, Япония, Италия,

<sup>2</sup> Санторик С.Е. Деофшоризация российского судоходного бизнеса. Риски и перспективы для торгового флота.

Великобритания, Россия и целый ряд других стран учредили международные реестры, называемые еще и оффшорными реестрами [2-6].

Некоторые особенности зарубежных международных реестров:

- в ряде стран отсутствуют ограничения на возраст судов при регистрации в Норвежском, Датском и Германском международных реестрах. В других странах такие ограничения есть. Так в Либерии суда с возрастом более 20 лет регистрируются в реестре только с разрешения специальной комиссии;
- в отдельных странах существуют требования к обязательному участию физических или юридических лиц страны регистрации в капитале компании-судовладельца или в ее производственно-коммерческой деятельности. Так, судно может быть зарегистрировано в норвежском международном реестре судов, если оно принадлежит норвежскому судовладельцу или иностранному судовладельцу, если головной офис данного судовладельца находится в Норвегии или если есть его уполномоченный представитель в Норвегии, на которого возложено значительная часть берегового, технического и коммерческого управления. Законодательство Дании разрешает регистрацию в международном реестре если судно принадлежит датчанину. В случае иностранного владельца судна регистрация возможна при условии, что датское юридическое лицо владеет не менее 20% акций данной компании и имеет право голоса. Необходимо также назначить своего представителя в Дании. Для регистрации в Либерии суда должны принадлежать либерийцам или иностранному судовладельцу зарегистрированного в Либерии как иностранное морское лицо;
- практически во всех странах отсутствуют ограничения по найму иностранной рабочей силы в экипажи судов. В ряде стран (Норвегия, Дания, Германия, Швеция, Корея) ограничения существуют только для гражданства лиц командного состава и в редких случаях введены количественные квоты для рядового плавсостава из страны, осуществляющей регистрацию.
- судовладельцем, зарегистрировавшим суда в международных реестрах стран ЕС, было разрешено оплачивать труд плавсостава не в соответствии с законодательством этих стран, кроме того, предоставляются значительные налоговые льготы.

Международные реестры способствуют сокращению затрат на содержание и комплектование экипажа, повышению эффективности национального тоннажа на мировом фрахтовом рынке и тем самым противодействуют его утечке в офшоры.

Россию тоже сильно коснулся процесс сокращения количества судов, зарегистрированных под национальным флагом, а в начале двухтысячных годов он принял угрожающий характер для транспортной и экономической безопасности государства. На начало 2011 г. контролируемый Россией морской транспортный флот работал в основном под иностранными флагами (77,6% по количеству и 72,5% по дедвейту). При этом в офшорных компаниях находились относительно новые суда средний возраст которых не превышал восьми лет, в то время как под российским флагом ходили старые малоэффективные суда возраст которых достигал 23 лет. *Для сравнения: средний возраст судов мирового флота составлял 18 лет.*

Динамика обновления судов морского и речного транспорта за первое десятилетие XXI века показала, что для российских судоходных компаний из всего количества вновь построенных морских судов лишь 12% (по количеству судов) и 4% (по дедвейту) было построено на отечественных судостроительных предприятиях.

Строительство судов «река-море» плавания на отечественных предприятиях по трудоемкости и срокам строительства в 2,5- 3 раза уступали зарубежным компаниям.

В сложившейся ситуации иностранные фрахтователи перехватили подавляющую часть перевозок российских грузов и практически вытеснили российский флот. В итоге лишь 21% перевозок российских грузов осуществлялся в судах, контролируемых Россией, а в судах под национальным флагом эта доля не превышала 5%.

Практика свидетельствует о том, деятельность западного бизнеса в офшорных зонах существенным образом отличается от деятельности бизнеса российского. Во-первых, западные компании выводят в офшоры только прибыль, в то время как российский бизнес наряду с прибылью выводит зачастую и активы. Во-вторых, западные компании открывают в офшорах лишь дочерние компании, российский же бизнес предпочитает создавать в офшорных зонах материнские компании, открывая тем самым их проникновение на российский рынок дочерних компаний [7,8].

Изменить коренным образом сложившуюся в судоходстве ситуацию и вернуть флот под российскую юрисдикцию стало возможным в результате целенаправленного развития смежных с судоходством отраслей, и в первую очередь судостроения.

Решение проблемы двух отраслей за счет регулирования кредитно-денежных отношений, таможенного и налогового законодательства, оказания государственной поддержки позволило получить положительные результаты уже к 2014 году.

Для реализации этих мер в Российской Федерации были приняты нормативные акты, направленные прежде всего на изменение налогового законодательства. Закон N 168-ФЗ, принятый в 2005 году, предоставил судовладельцам и судостроительным предприятиям существенные льготы при условии регистрации судов в РМРС [9]:

- судовладельцы освобождались от налога на имущество, на прибыль и транспортного налога, таможенных пошлин и налога на добавленную стоимость;
- стал возможен переход из Государственного судового реестра в Бербоут-чартерный и Российский международный реестры судов с предоставлением соответствующих налоговых льгот;
- выбор классификационного общества (российского или зарубежного), осуществляющего технический надзор за судами и их классификацию предоставлялся судовладельцам.

Вместе с тем, законом предусматривались целый ряд ограничений, которые сдерживали переход судов под российский флаг. В результате после пяти лет существования, российский международный реестр судов насчитывал лишь 314 судов.

Сложившаяся ситуация привела к необходимости дальнейшей либерализации действующего законодательства. Закон N 305-ФЗ [10] существенно расширил льготы, предусмотренные предыдущим законом. Так право регистрации в международном реестре получили [11,12,13]:

- суда, построенные на российских верфях после 01.01.2010 года вне зависимости от видов их деятельности;
- суда на каботажных перевозках;
- суда, осуществляющие разведку и разработку ресурсов, технические работы и ряд других работ.

Впоследствии были внесены ряд изменений в налоговое законодательство Российской Федерации, касающиеся деятельности РМРС.

### **Результаты**

Проведенный Волжским государственным университетом водного транспорта анализ результатов реализации мер государственной поддержки в период с 2014 по

2022 г. показал, что эти меры имеют действенный характер и способствуют возвращению судов под российскую юрисдикцию и принятию решения о модернизации и обновлении флота, размещению заказов на строительство новых судов на российских судостроительных верфях.

На конец 2021 года в Российском международном реестре судов зарегистрировано 1843 судна суммарной валовой вместимостью 7257,5 тыс. единиц, из них для перевозки грузов и пассажиров транспортный флот составляет 1147 судов. Из них 426 судов предоставлены российскими фрахтователями по договору фрахтования «бербоут-чартер». За последние 10 лет, с момента принятия ФЗ-305, количество судов, находящихся в РМРС, увеличилось в 3,5 раза, ежегодный прирост в среднем составляет плюс 110-120 судов (Рис.2).

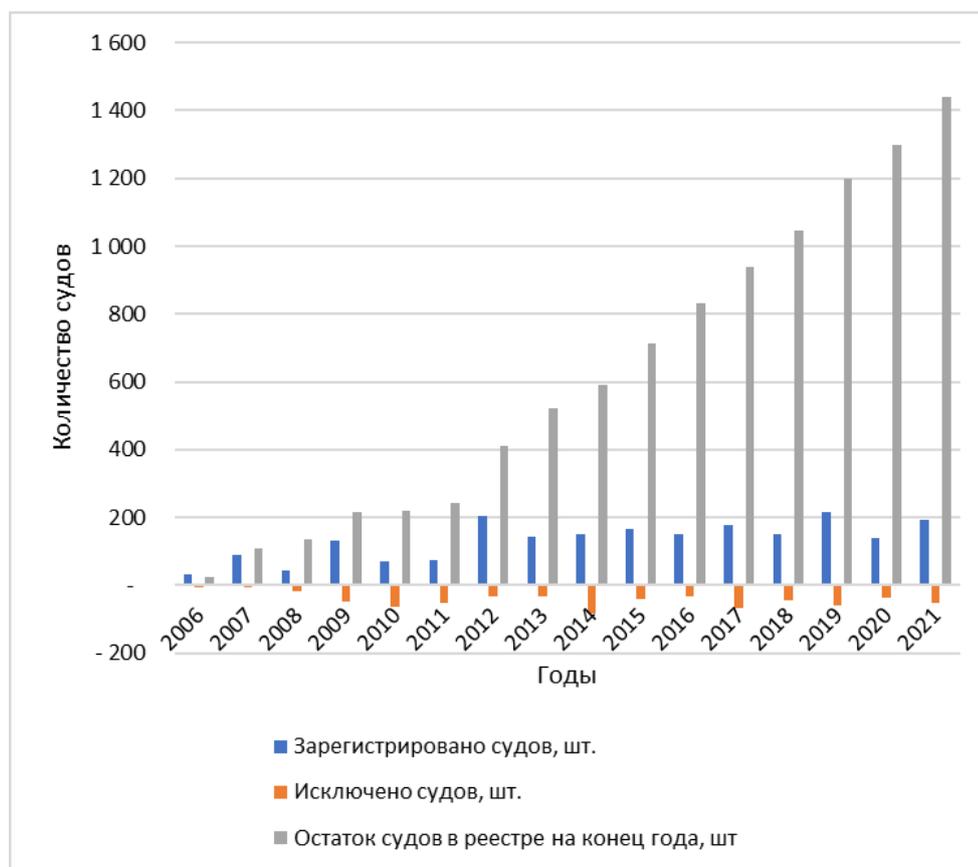


Рис. 2. Динамика регистрации судов в РМРС  
 Источник: Электронная версия реестра судов РФ

В 2012 г. отмечен резкий прирост числа судов в реестре (на 62%), что говорит о несомненном влиянии дополнительных льгот, предоставленных судоходным компаниям федеральным законом №305–ФЗ (2011 г.). Последствия этого закона проявились и в последующем, когда темп прироста составил 24%.



Рис. 3. Каналы поступления судов в РМРС в 2014 и 2021 годах  
 Источник: Электронная версия реестра судов РФ

Данные, приведенные на рис.3, свидетельствуют о том, что структура источников поступления судов в РМРС за период 2014-2021 годы несколько изменилась. Прежде всего, необходимо отметить снижение доли судов, поступивших из нового судостроения, на 5,2% и иностранных реестров - на 11,4% за счет увеличения поступлений из государственных реестров на 16,6%.

Изменилась и структура состава флота в РМРС. Анализ показал, что международный реестр судов интересен для среднетоннажного морского флота валовой вместимостью до 8000 и до 20000 т. Также, начиная с 2015 года, заметно выросла доля крупнотоннажного флота валовой вместимостью свыше 45000 (в отдельные годы от 30% до 49% по величине вместимости). Именно эти виды флота наибольшим образом влияют на грузооборот отечественного морского транспорта и величину поступающих в бюджет пошлин за регистрацию судов и её продление.

На начало действия РМРС подавляющую долю среди зарегистрированных судов составлял транспортный сухогрузный флот - 88 %, наливной флот - 6%. На остальные видовые группы флота приходилось менее 4%.

К настоящему времени в составе регистрируемого флота возросло количество буксиров, комбинированных судов, барж, пассажирских судов, а также обслуживающего (суда снабжения, ледоколы, лоцманские суда, вспомогательные суда и т.д.) и нетранспортного флота (суда-спасатели, суда-водолазы, научно-исследовательские суда, суда для добычи природных ресурсов со дна моря, суда экологического назначения и т.д.).

В результате этих изменений доля транспортного флота составляет 68%, в т.ч. сухогрузный флот – 54%, наливной – 14%. На увеличение доли вспомогательного и нетранспортного флота повлияли корректировки законодательства, позволяющие регистрировать в РМРС не только суда, занимающиеся перевозками, но и любой деятельностью, попадающей под определение «мореплавание».

Перспективы развития российской судостроительной промышленности определены стратегией развития судостроительной отрасли на период до 2035года [16]. Согласно этому документу для внутреннего рынка до 2035 года должно быть построено порядка 250 морских торговых судов и 1500 судов «река-море», а также более 2000 судов различного назначения включая суда рыбопромыслового флота, вспомогательного и технического флотов, ледоколов, научно-исследовательских и

прочих судов. Однако решение этой глобальной задачи будет возможно, если загрузка основных производственных фондов будет увеличена до 80%, а объем производства увеличится более чем в два раза.

Вместе с тем, эксперты отмечают, что достижение намеченных рубежей в загрузке предприятий судостроительной отрасли сдерживаются финансово-экономическими возможностями судоходных компаний. Так потребность в морских транспортных судах может быть обеспечена заказами лишь на 18%, а в рыбопромысловых, научно-исследовательских и судах «река-море» плавания на 6-11%. Несколько лучше обстоят дела с возможностью заказов на ледоколы, вспомогательные суда и суда технического флота, потребность в которых закрывается на 40-60% [16].

По данным АО «ЦНИИМФ на начало 2022 года за период 2022-2025 гг. ожидаются поставки [17]: морских судов транспортного флота в количестве 149 единиц общим дедвейтом более 4 млн. т, из них законтрактованных – 107 судов; – обеспечивающего флота в количестве 72 единиц общей мощностью более 700 МВт, из них законтрактованных – 35 судов. За период 2022-2025 гг. планируется построить 173 единицы судов на российских судостроительных верфях, из них 66 единиц морских судов, 36 единиц судов смешанного «река-море» плавания, 71 единицу обеспечивающего флота.

По всей вероятности, в ближайшей перспективе и тем более дальнейшее развитие судостроительной отрасли возможно лишь с участием государства, учитывая ее высокую капиталоемкость и значительные сроки окупаемости вложенных средств. Эффективное функционирование отрасли невозможно без дальнейшего совершенствования нормативно-правовой базы, стимулирования судовладельцев к обновлению флота, создание благоприятных условий деятельности и инвестиционной привлекательности российских судостроительных верфей.

Российский международный реестр судов остается привлекательным и действенным инструментом, который способствует повышению конкурентоспособности судоходных компаний на мировом фрахтовом рынке и стимулирует размещение заказов на строительство судов на отечественных предприятиях. Наряду с увеличением строительства новых судов РМРС удается решать и задачу по возвращению российских судов под национальный флаг. Так 1224 судна с момента создания РМРС до настоящего времени перешли из-под флагов иностранных государств под российскую юрисдикцию. В итоге под российским флагом появился флот суммарной вместимостью почти 5 млн. ед., что эквивалентно созданию более 9000 рабочих мест в России. За период с 2012 года, с момента запуска мер поддержки, более чем в 2,5 раза возросло число зарегистрированных судов.

В 2021 году транспортными судами РМРС было перевезено 112 млн. тонн грузов, что в четыре раза больше, чем в 2012 году, в момент усиления мер государственной поддержки. Всего с момента создания реестра за 16 лет его действия было перевезено более 722 млн. тонн груза.

В 2021 году транспортными судами РМРС получен доход около 112 млрд. рублей, что в 4 раза больше, чем в 2012 году (Рис.4). Всего за 16 лет действия РМРС в экономику России было возвращено 718,2 млрд. рублей (в ценах 2021 г.).

Основной целью создания Российского международного реестра судов являлось создание правовых и экономических условий, способствующих развитию отечественного морского и речного транспорта и повышению его конкурентоспособности, а также росту объема экспорта транспортных услуг, что, в свою очередь, генерирует положительный мультипликативный эффект для всей экономики России.

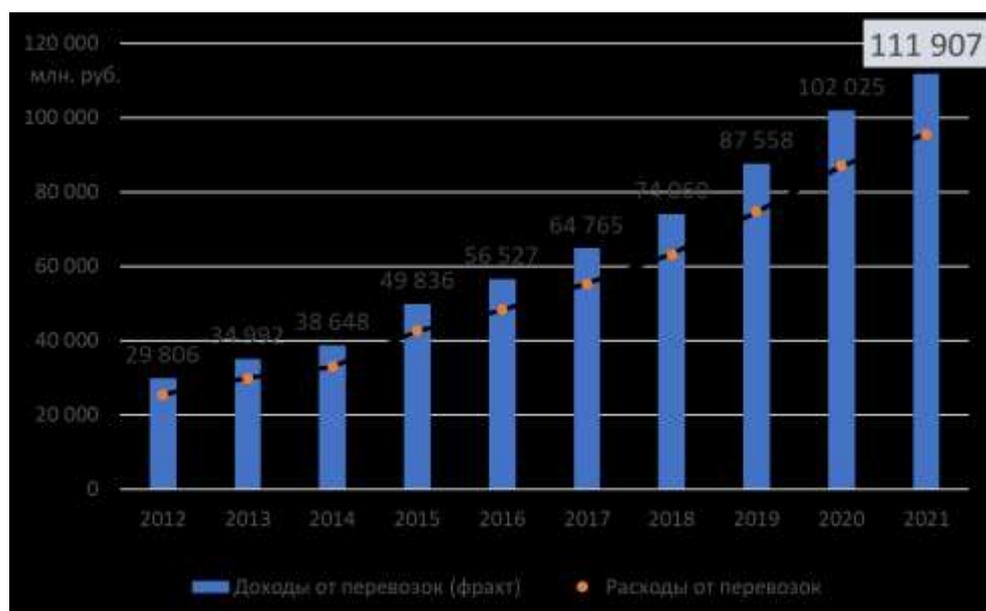


Рис. 4. Динамика доходов (фрахта) от перевозок судами РМРС за 2012-2021 гг.  
Источник: получено расчетным путем

Оценка эффективности проекта РМРС производилась с соблюдением принципа: сравнение "с проектом" и "без проекта" [15].

Непосредственный (прямой) эффект проекта, выраженный через прирост ВВП, составил за период 2014-2021 годы 49,6 млрд. руб. Индекс доходности мер государственной поддержки- 1,8 (Рис.5).

Водный транспорт тесно связан с многими отраслями народного хозяйства. Положительные изменения в отрасли безусловно скажутся на развитие смежных отраслей, что вызовет внешний эффект в виде прироста ВВП.

Влияние изменений по виду экономической деятельности «деятельность водного транспорта» на ВВП страны принято оценивать по таблицам «Затраты-выпуск», которые публикуются РОССТАТ начиная с 2011 года, один раз в пять лет. По таблицам «Затраты-выпуск» ВВП, создаваемый видом деятельности, рассчитывается как сумма расходов на конечное потребление, валового накопления и чистого экспорта.

Определенный по таблицам ВВП соотносится с показателем выпуска товаров (услуг) по виду деятельности. Это отношение принято называть мультипликатор (множитель), который показывает, на сколько рублей увеличится ВВП страны при росте выпуска продукции вида деятельности на 1 рубль. Расчеты показали, что рост выпуска услуг по виду деятельности «деятельность водного транспорта» на 1 рубль вызывает прирост ВВП в целом по отраслям народного хозяйства 59 коп. За 8 лет внешний эффект в виде прироста ВВП в целом по народному хозяйству от реализации проекта РМРС составил 346,7 млрд. руб.

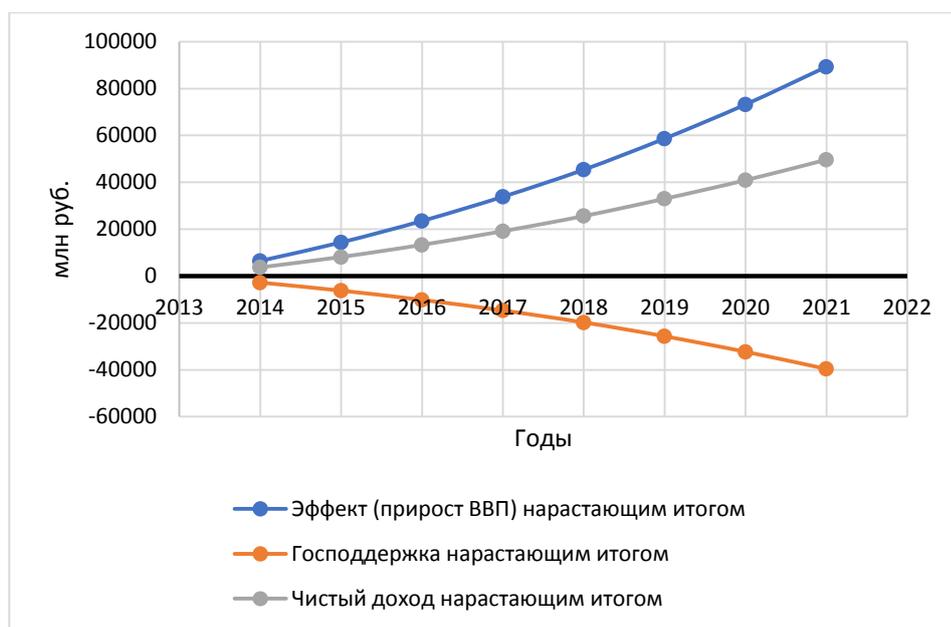


Рис. 5. Прямой народнохозяйственный эффект проекта РМРС  
Источник: получено расчетным путем

### Заключение

Проведенные исследования показали, что создание Российского международного реестра судов оказало положительное влияние на развитие отечественной экономики и её устойчивость к внешним факторам.

В частности, создание международного реестра судов создало условия для возвращения значительной части флота (23% от общего количества судов) из реестров иностранных государств под Российскую юрисдикцию.

Преференции, предусмотренные законодательством, в совокупности с государственными субсидиями по кредитным и лизинговым договорам, фискальными и таможенными преференциями для судостроительных предприятий создали финансовую модель, обеспечивающую экономическую основу с конкурентными условиями для развития отечественного судостроения, в том числе для внутреннего водного транспорта.

Водный транспорт тесно связан с многими отраслями народного хозяйства. Существенные положительные изменения в отрасли безусловно дали толчок развитию смежных отраслей. Исследования показали, что **РОСТ** выпуска продукции по виду деятельности «деятельность водного транспорта» на 1 рубль вызывает прирост ВВП в целом по отраслям народного хозяйства на 59 коп.

Отмеченное выше свидетельствует о том, что создание Российского международного реестра судов способствовало укреплению транспортной безопасности государства и экономической независимости российской экономики.

Сегодня имеется настоятельная необходимость продолжения государственной поддержки судоходства и судостроения, поскольку РМРС зарекомендовал себя эффективным способом реализации государственной политики по возвращению национального флота под российский флаг. Исследования показали, что сохранение механизмов государственной поддержки позволит повысить основные показатели деятельности реестра к 2027 году почти на 40%.

**Список литературы**

1. ЮКТАД, Обзор морского транспорта, 2014.
2. Act on Danish International Register of Shipping (consolidated act no. 273 of 4 November 1997, as amended).
3. §1, §2, §10 Flaggenrechtsgesetz vom 8. Februar 1951, das zuletzt durch Artikel 4 Absatz 141 des Gesetzes vom 7. August 2013.
4. Merchant Shipping Act (consolidated act no. 856 of 1 July 2010 г.). Order on registration in the Danish International Register of Shipping of ships whose does not meet the conditions of section 1 of the Merchant Shipping Act (order no. 1046 of 6 December 1996).
5. § 7 Regulations of 30 July 1992 No. 592 relating to the registration of ships in the Norwegian International Ship Register (NIS). Last amended by Regulation of 01.01.2014 No. 238.
6. DIS Order (order no. 416 of 7 December 1988, as amended).
7. Гагарин П. Деофшоризация экономики // <http://ecpol.ru/2012-04-05-13-39-38/2012-04-05-13-40-11/555-deoffhorizatsiya-ekonomiki.html>.
8. Оффшоры: новые правила игры в России и в мире // <http://blogfiscal.ru/?p=10429/>.
9. Федеральный закон от 20.12.2005 № 168-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с созданием Российского международного реестра судов». - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_57234/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_57234/).
10. Федеральный закон № 305-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с реализацией мер государственной поддержки судостроения и судоходства». - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_121269/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121269/).
11. "Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации" от 30.04.1999 N 81-ФЗ (ред. от 28.06.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 09.07.2022). - URL: <https://dsm.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=nG53uNTklmvi69Jz&cacheid=FD3F44E19541EE4409B7C5B9AAC44692&mode=splus&rnd=I6uMKQ&base=LAW&n=420500#sZ73uNTAps119Vh41/>.
12. "Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая)" от 05.08.2000 N 117-ФЗ (ред. от 04.11.2022). - URL: <https://dsm.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=p0i3uNTCenk85WaH1&cacheid=DEE919BD7258AB3ECE5C2B7ECEB3A3AE&mode=splus&rnd=I6uMKQ&base=LAW&n=430627#Iri3uNTD7OyzknD1/>.
13. "Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации" от 07.03.2001 N 24-ФЗ (ред. от 14.03.2022). - URL: <https://dsm.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=2jp4uNTkV6U3O6um&cacheid=D0B3E370259C0EFDF95EC843EE1BCEE0&mode=splus&rnd=I6uMKQ&base=LAW&n=411572&dst=100000001#uHq4uNTvLmMM6mn7/> (дата обращения 21.10.2022).
14. Решение Комиссии Таможенного союза от 27.11.2009 N 130 (ред. от 17.10.2022) "О едином таможенно-тарифном регулировании Евразийского экономического союза". URL: <https://dsm.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=Mnm5uNT1fkQvQDeF&cacheid=DF32764648E1B7D0F269C3CD6BE2EEAF&mode=splus&rnd=I6uMKQ&base=LAW&n=430771#HUq5uNTyRdIXkFMB/>.
15. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция) / Министерство экономики РФ, Министерство финансов РФ, Государственный комитет РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике № ВК 477 от 21.06.1999 г <https://docs.cntd.ru/document/1200005634/>.
16. Распоряжение Правительства РФ от 28.10.2019 N 2553-р «Об утверждении Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2035 года». - URL: <https://dsm.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=A6pytNTRPXD5rrS&cacheid=81D718EA20EFBFC04E432DD312C0A7E2&mode=splus&rnd=I6uMKQ&base=LAW&n=336470#g6eJuNTIY6Mtw3E8/> (дата обращения 26.10.2022).
17. Буянов С. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка обоснования изменений в Федеральные законы, определяющие правовой режим РМРС (в части продления после 2027 года действующих ставок пенсионного и иных видов страхования) (заключительный)/ С. Буянов//Санкт-Петербург.-2021.

### References

1. UNCTAD, Review of Maritime Transport, 2014.
2. Act on Danish International Register of Shipping (consolidated act no. 273 of 4 November 1997, as amended).
3. §1, §2, §10 Flaggenrechtsgesetz vom 8. Februar 1951, das zuletzt durch Artikel 4 Absatz 141 des Gesetzes vom 7. August 2013.
4. Merchant Shipping Act (consolidated act no. 856 of 1 July 2010). Order on registration in the Danish International Register of Shipping of ships whose does not meet the conditions of section 1 of the Merchant Shipping Act (order no. 1046 of 6 December 1996).
5. § 7 Regulations of 30 July 1992 No. 592 relating to the registration of ships in the Norwegian International Ship Register (NIS). Last amended by Regulation of 01.01.2014 No. 238.
6. DIS Order (order no. 416 of 7 December 1988, as amended).
7. Gagarin P. Deoffshorization of the economy // <http://ecpol.ru/2012-04-05-13-39-38/2012-04-05-13-40-11/555-deoffhorizatsiya-ekonomiki.html>.
8. Offshore: new rules of the game in Russia and in the world//<http://blogfiscal.ru/?p=10429/>.
9. Federal Law No. 168-FZ dated December 20, 2005 «On Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation in Connection with the Creation of the Russian International Register of Vessels». - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_57234/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_57234/).
10. Federal Law No. 305-FZ «On Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation in Connection with the Implementation of State Support Measures for Shipbuilding and Shipping». - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_121269/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121269/).
11. Code of Merchant Shipping of the Russian Federation" dated April 30, 1999 N 81-FZ (as amended on June 28, 2022) (as amended and supplemented, effective from July 9, 2022). - URL: <https://dsm.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=nG53uNTklmvi69Jz&cacheid=FD3F44E19541EE4409B7C5B9AAC44692&mode=splus&rnd=I6uMKQ&base=LAW&n=420500#sZ73uNTAps1I9Vh4 1/>.
12. . "Tax Code of the Russian Federation (Part Two)" dated 05.08.2000 N 117-FZ (as amended on 04.11.2022). - URL: <https://dsm.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=p0i3uNTCenk85WaH1&cacheid=DEE919BD7258AB3ECE5C2B7ECEB3A3AE&mode=splus&rnd=I6uMKQ&base=LAW&n=430627#Iri3uNTD7OyzknD1/>.
13. "Code of Inland Water Transport of the Russian Federation" dated March 7, 2001 N 24-FZ (as amended on March 14, 2022). - URL: <https://dsm.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=2jp4uNTkV6U3O6um&cacheid=D0B3E370259C0EFD95EC843EE1BCEE0&mode=splus&rnd=I6uMKQ&base=LAW&n=411572&dst=100000001#uHq 4uNTvLmMM6mn7/> (accessed 21.10.2022).
14. Decision of the Commission of the Customs Union of November 27, 2009 N 130 (as amended on October 17, 2022) "On the unified customs and tariff regulation of the Eurasian Economic Union". URL: <https://dsm.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=Mnm5uNT1fkQvQDeF&cacheid=DF32764648E1B7D0F269C3CD6BE2EEAF&mode=splus&rnd=I6uMKQ&base=LAW&n=430771#HUq5uNTyRdIXkFMB/>.
15. Guidelines for evaluating the effectiveness of investment projects (second edition) / Ministry of Economy of the Russian Federation, Ministry of Finance of the Russian Federation, State Committee of the Russian Federation for Construction, Architectural and Housing Policy No. BK 477 of 06/21/1999 <https://docs.cntd. en/document/1200005634/>.
16. Decree of the Government of the Russian Federation of October 28, 2019 N 2553-r «On approval of the Strategy for the development of the shipbuilding industry for the period up to 2035». - URL: <https://dsm.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=A6pytNTRPXD5rrS&cacheid=81D718EA20EFBFC04E432DD312C0A7E2&mode=splus&rnd=I6uMKQ&base=LAW&n=336470#g6eJuNTIY6Mtw3E8/> (date appeals 26.10.2022).
17. Buyanov S. Report on the research work «Development of the rationale for changes to the Federal laws defining the legal regime of the RMRS (in terms of extending the current rates of pension and other types of insurance after 2027) (final) / S. Buyanov//St. Petersburg.- 2021.

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Митрошин Сергей Григорьевич**, к.т.н.,  
доцент, проректор по конвенционной  
подготовке и международной деятельности  
«Волжский государственный университет  
водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),  
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5,  
e-mail: priemnayakp@vgavt-nn.ru

**Минеев Валерий Иванович**, д.э.н.,  
профессор, главный научный сотрудник  
кафедры экономики и менеджмента,  
Волжский государственный университет  
водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),  
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова,  
5, e-mail: vlrmineev@gmail.com

**Уртминцев Юрий Николаевич**, д.т.н.,  
профессор, заведующий кафедрой управления  
транспортом, Волжский государственный  
университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО  
«ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул.  
Нестерова, 5, e-mail: yurtm@yandex.ru

**Лисин Александр Александрович**, к.т.н.,  
доцент, доцент кафедры управления  
транспортом, Волжский государственный  
университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО  
«ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул.  
Нестерова, 5, e-mail: lisin\_aa@mail.ru

**Sergei G. Mitroshin**, candidate of Technical  
Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for  
Convention Training and International Activities  
of the «Volga State University of Water  
Transport» (VSUVT), 603951, Nizhny  
Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail:  
priemnayakp@vgavt-nn.ru

**Valery I. Mineev**, doctor of Economics,  
Professor, Chief Researcher of the Department of  
Economics and Management, «Volga State  
University of Water Transport» (VSUVT),  
603951, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5,  
e-mail: vlrmineev@gmail.com

**Yuri N. Urtmintsev**, doctor of Technical  
Sciences, Professor, Head of the Department of  
Transport Management, «Volga State University  
of Water Transport» (VSUVT), 603951, Nizhny  
Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail:  
yurtm@yandex.ru

**Alexander A. Lisin**, candidate of Technical  
Sciences, Associate Professor, Associate  
Professor of the Department of Transport  
Management, «Volga State University of Water  
Transport» (VSUVT), 603951, Nizhny  
Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail:  
lisin\_aa@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24.05.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 24.05.2023; published online 20.09.2023.

УДК 331.2

DOI: 10.37890/jwt.vi76.395

## **Актуальные проблемы организации оплаты труда персонала транспортного вуза: горизонты развития**

**Ж.Ю. Пыжова**

*ORCID: 0000-0003-0472-3428*

**Р.И. Каравашкина**

*ORCID: 0000-0002-7263-9001*

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

**Аннотация.** В настоящий момент ФГБОУ ВО ВГУВТ осуществляет переход к модели университетского комплекса со сложной интегрированной структурой. Реализация приоритетных направлений развития вуза невозможна без квалифицированных кадров, выполняющих основные и вспомогательные виды работ. Эффективность деятельности кадров обеспечивается не только их грамотным подбором, но и современной системой организации и оплаты труда. В то время как организация и оплата труда основного состава сотрудников – ППС достаточно жёстко регламентирована, в отношении административно - управленческого персонала вузы имеют некоторую свободу. В связи с этим разработка мер по совершенствованию организации и оплаты труда административно-управленческого персонала с учетом специфики внутренних условий хозяйствования особенно важна для учебного заведения.

Современное высшее учебное заведение находится в постоянной трансформации и развитии в соответствии с требованиями времени. Стремясь отвечать актуальным задачам, вузы претерпевали и продолжают претерпевать значительные изменения под воздействием факторов как внешней, так и внутренней среды. Совершенствуя свою деятельность им приходится решать целый ряд организационных, управленческих, социальных и экономических задач.

**Ключевые слова:** университетский комплекс, организация труда, оплата труда, административно-управленческий персонал, водный транспорт, транспортный университет.

## **Current problems of the organization of payment of the staff of the transport university: horizons of development**

**Zhanna Y. Pyzhova**

*ORCID 0000-0003-0472-3428*

**Renata I. Karavashkina**

*ORCID 0000-0002-7263-9001*

*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia.*

**Abstract.** At the moment, Volga State University of Water Transport is moving on to the model of a university complex with a complex integrated structure. The implementation of the priority directions concerning the university development is impossible without qualified personnel performing the main and auxiliary types of work. The efficiency of personnel activity is ensured not only by their competent selection, but also by a modern system of organization and remuneration. While the organization and remuneration of the main staff - teaching staff is quite strictly regulated, universities have some freedom in relation to administrative and managerial personnel. In this regard, the development of measures to improve the organization and remuneration of administrative and managerial personnel, taking into account the specifics of the internal conditions of management, is especially important for an educational institution.

A modern higher education institution is in constant transformation and development in accordance with the requirements of the time. In an effort to meet current challenges, universities have undergone and continue to undergo significant changes under the influence of both external and internal factors. Improving their activities, they have to solve a number of organizational, managerial, social and economic tasks.

**Keywords:** university complex, labor organization, wages, administrative and managerial personnel, water transport, transport university

### **Введение**

Новая модель ФГБОУ ВО ВГУВТ осуществляет переход от института, академии и университета водного транспорта, к цифровому университетскому комплексу со сложной интегрированной структурой.

Национальная стратегия развития системы образования, основанная на цифровизации всех процессов, определяет основным приоритетом обеспечение ее высокого качества. В настоящее время деятельность высшего учебного заведения касается как вопросов адаптации учебного процесса к очным и дистанционным формам организации работ, так и направлена на реализацию инновационных задач, в основе которых лежит принцип единства учебной, воспитательной, научной, исследовательской, проектной и конструкторской деятельности.

В настоящее время в университете реализуется выполнение задач Федеральной целевой программы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» – проектно-изыскательских, строительно-монтажных работ по объектам, уже включенным в Федеральную адресную инвестиционную программу, подготовка инвестиционных проектов новых объектов. Осуществляется дальнейшая реализация модели «Цифровой университет» в рамках обеспечения выполнения Федеральной целевой программы.

К числу приоритетных задач ВГУВТ относится обеспечение выполнения Федеральной целевой программы «Научно-технологическое развитие РФ», подпрограмма «Обеспечение глобальной конкурентоспособности российского высшего образования».

Основными этапами реализации программы развития университетского комплекса ВГУВТ на ближайший период (до 2025 года) являются:

- наращивание потенциала университета в рамках деятельности консорциума отраслевых (опорных) университетов;

- реализация программы стратегического академического лидерства;

- реализация модели «Цифровой университет», предполагающая цифровизацию управленческой, научной и образовательной деятельности, развитие цифровых коммуникаций.

Реализация поставленных задач требует наличия квалифицированных кадров, мотивированных на достижение вышеобозначенных целей, кадров, представляющих собой единый, сплоченный и гибкий трудовой коллектив. Кадровую политику и управление персоналом невозможно «строить» без отлаженной научно обоснованной системы организации труда и заработной платы.

### **Методы**

Данные задачи в области совершенствования организации заработной платы реализуются через обеспечение жесткой взаимосвязи между размером оплаты труда и результативностью работы каждого сотрудника, обеспечение нормативного соотношения постоянной и переменной частей заработной платы, соблюдение нормативного соотношения численности основного и вспомогательного персонала, курса на омоложение кадров, приобретение сотрудниками новых, в т.ч. цифровых

компетенций, повышение эффективности научно-исследовательской, методической деятельности работников всех структурных подразделений.

Уровень среднемесячной заработной платы профессорско-преподавательского состава и педагогических работников за 1 полугодие 2023 года вырос по отношению к уровню 2022 года на 30% (таблица 1).

*Таблица 1*

**Средняя заработная плата по категориям работников университетского комплекса за 2022- январь-июнь 2023 г.**

ПОКАЗАТЕЛЬ	2022		Январь-июнь 2023	
	руб./мес	%	руб./мес*	%
Средняя заработная плата по региону	40440		44360	
Средняя заработная плата ППС	86619	214,2	112827	254,3
Средняя заработная плата педагогических работников	48807	120	63260	143
Средняя заработная плата АУП и ВП	44007	108,8	45480	102,5

В университете этот показатель достиг по профессорско-преподавательскому составу - 254% к средней заработной плате по региону, по педагогическим работникам - 143%. Предельный уровень оплаты по данным категориям персонала также выполнен в филиалах.

В соответствии с Едиными рекомендациями по установлению на федеральном, региональном и местном уровнях систем оплаты труда работников государственных и муниципальных учреждений на 2023 год (раздел IX, пункт 36) совершенствование систем оплаты труда педагогических и иных работников рекомендуется осуществлять таким образом, чтобы на установление окладов, ставок заработной платы работников направлялось не менее 70 процентов фонда оплаты труда организации; предельная доля расходов на оплату административно-управленческого и вспомогательного персонала в фонде оплаты труда образовательных учреждений составляла в объеме не более 40 процентов.

В Волжском университете на протяжении 2022 – первого полугодия 2023 года велась активная работа по приведению фонда оплаты труда персонала к установленным нормативам. Соотношение фонда оплаты труда профессорско-преподавательского состава и административно-управленческого персонала в 2023 году (рисунок 1) свидетельствует о положительных результатах этой работы.



Рис.1. Направления совершенствования системы оплаты труда в 2019 – 2022 гг.

Так, предельная доля расходов на оплату административно-управленческого и вспомогательного персонала в фонде оплаты труда образовательной организации, в том числе по филиалам, в объеме не более 40 процентов выполняется в университете и практически по всем филиалам (кроме Каспийского института и Самарского филиала).

Структура оплаты труда, приведенная на рисунке 2, также характеризует динамику проведенной работы.



Рис.2. Структура заработной платы работников университетского комплекса ВГУВТ 2022 – январь-июнь 2023 г

Так, по категории ППС в 2023 году практически достигнуто целевое значение окладной части в размере 70% за счет снижения доли премиальных выплат, в том числе по результатам рейтинга. При этом совокупный уровень компенсационных и прочих стимулирующих выплат практически не изменился. По педагогическим работникам увеличение доли окладной части осуществлялось не только за счет снижения доли премиальных и рейтинговых выплат, но и за счет изменения

структуры стимулирующих и компенсационных выплат. При снижении выплат стимулирующего характера на 7,5% возросла доля выплат за компенсацию в рамках дополнительной работы, порученной по служебным заданиям (более, чем на 6%). Таким образом, по данной категории персонала можно отметить тенденцию повышения интенсивности и мотивации труда при одновременном снижении доли необоснованных стимулирующих выплат.

### **Результаты**

Новая модель университетского комплекса предполагает внедрение цифровых технологий во все процессы, включая образовательную и управленческую деятельность. На первоначальных этапах цифровизация означает не только приобретение новых компетенций, но и, к сожалению, увеличение нагрузки, а также значительный рост интенсивности труда. Настоящий переход к разработке и освоению новых образовательных технологий, к новым приемам и методам труда всех категорий персонала значительно ускорен реалиями времени. Форма организации трудового процесса цифрового университета будет претерпевать изменения, стремиться к наибольшему соответствию требованиям текущего времени, органично используя предоставленные временем позитивные возможности новых технологий.

Безусловно, образовательная и научная деятельность являются основными для высшего учебного заведения. Ориентация на подготовку инженерных кадров в области транспорта означает, что принципы университетской фундаментальной подготовки должны сочетаться с усвоением значительных практических навыков. Развитие транспортной отрасли происходит в условиях развития, совершенствования и все большего усложнения техники и технологий, что должно находить отражение в цикле подготовке будущих специалистов.

Для организации учебного процесса в университетском комплексе ВГУВТ дополнительно созданы: СДО Парус, центр конвенционной подготовки, институт непрерывного образования, учебно-слесарные мастерские, УНПЦ «Судоремонт». Организуется практика на судах партнеров университета и на учебном флоте: т/х «Петр Андрянов», ПУС «Херсонес» и «Мир». Для прохождения производственной практики между университетом и предприятиями – базами прохождения практики заключены договора с такими предприятиями как Водоход, завод Красное Сормово, Сбер, Апрель софт, Алабуга, ГАЗ, и др. Планируются к открытию центры профориентационной подготовки молодежи, профориентационные классы в школах и колледжах, Школа навигационных наук, ВПО Флагман, НОУ Эврика, военный учебный центр. Создано все возможное в настоящий момент, чтобы обеспечить потребности транспортной отрасли в самых разнообразных кадрах – от механиков и судоводителей, до юристов, экономистов, менеджеров, программистов, а также специалистов в области экологии, строительства, экономической и информационной безопасности.

Для выведения образовательного процесса на новый качественный уровень необходима слаженная работа как преподавательского состава, так и всех тех, кто так или иначе задействован или может быть задействовать в учебной, научно-исследовательской, опытно-конструкторской и воспитательной работе.

Это означает, что использование новых форм реализации учебного процесса без сомнения приводит к значительному повышению нагрузки на административно-управленческий и вспомогательный персонал, основными задачами которого, как известно, являются учебно-методическое обеспечение и обслуживание учебного процесса. В свою очередь новые формы реализации труда требуют реализации мероприятий по совершенствованию организации труда, в том числе в области нормирования и оплаты труда.

Первоочередной задачей на ближайшую перспективу, несомненно, является оптимизация структуры оплаты труда административно – управленческого и вспомогательного персонала, где несмотря на рост окладной части за счет снижения премиальных выплат, по – прежнему, велика доля стимулирующих выплат (42,5%).

Повышение размеров оплаты труда работников административно-вспомогательного персонала необходимо. В силу неразвитости рынка труда заработная плата этой профессий данной категории работников всегда была недостаточно высокой. Несмотря на то, что основные функции данной категории работников не связаны непосредственно с учебным процессом и НИР, тем не менее, эти работники способны значительно повысить эффективность основного персонала за счет освобождения его от вспомогательных видов работ, высвободив время для основной - учебной и научной деятельности.

В рамках трансформации университета в новую модель университетского комплекса и совершенствования организации труда осуществлен переход большинства категорий персонала на «1С-Документооборот», что должно способствовать облегчению труда и ускорению основных и вспомогательных процессов административно-управленческого, вспомогательного и преподавательского состава.

В рамках совершенствования оплаты труда административно - управленческого персонала в качестве инструментов регулирования, на наш взгляд, необходим пересмотр должностных обязанностей по категориям АУП. Введение функционала служебных заданий с сентября 2022 года в рамках оплаты дополнительно поручаемой сотрудникам работы (сверх должностных обязанностей) позволило существенно упорядочить целевой характер расходования средств на оплату труда персонала.

Изменение механизма выплат – переход от почасовой оплаты труда в рамках стимулирующих выплат к выплате компенсаций по служебным заданиям – только в рамках организации учебного процесса позволило получить годовую экономию фонда оплаты труда более 1 млн. рублей. Успешно проведенная в марте 2023 года автоматизация модуля служебных заданий на платформе 1С Документооборот (рисунок 3) позволила существенно сократить административные сроки и упорядочить этапность согласования поручаемой сотрудникам дополнительной работы, а также установить обоснованный размер выплаты в рамках компенсации, исходя из среднедневного (среднечасового) заработка.

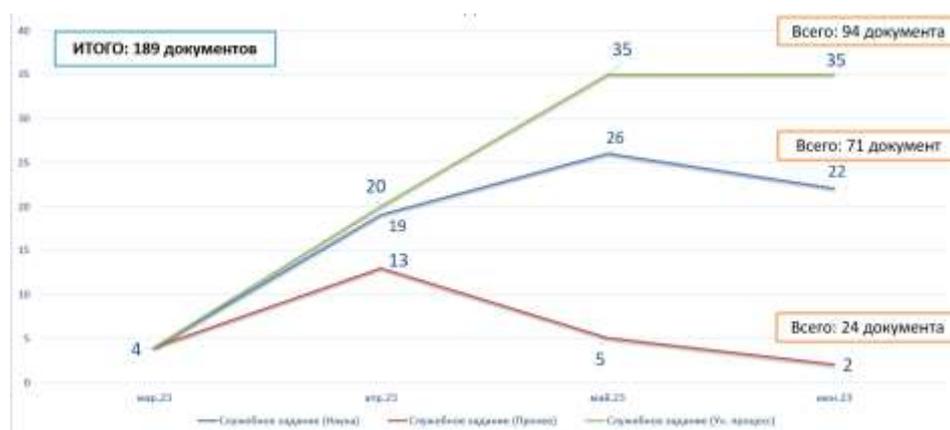


Рис.3. Статистика 1С: Документооборот в части модуля служебных заданий.

Современная модель управления персоналом организации также характеризуется стремлением к сохранению квалифицированных специалистов, их всестороннему развитию, участию во всех процессах хозяйственной деятельности вуза и в

планировании карьеры работников. Все это может быть использовано в обновленной модели организации труда и его оплаты, через введение системы показателей премирования и критериев эффективности работы. В рамках совершенствования оплаты труда административно - управленческого персонала в качестве инструментов регулирования, на наш взгляд, также необходим «перезапуск» системы мотивации с внедрением «пилотного» проекта «Индивидуальный план сотрудника».

В современных условиях хозяйствования университетского комплекса административно-управленческий и вспомогательный персонал может и должен постоянно расширять свои профессиональные навыки и сферу компетенций. Работники могут принимать участие в методической, воспитательной, научной и опытно-конструкторской и других видах работ.

Структура заработной платы работников бюджетных организации, основанная на использовании сдельной и премиальной систем оплаты труда, по нашему мнению, должна придерживаться на соблюдении ряда принципов. Одним из них является соблюдение определённого соотношения в долях постоянной и переменной частей заработной платы. Постоянная часть должна быть достаточной для достойного уровня жизни работника в случае выполнения им основной части должностных обязанностей на удовлетворительном уровне. В случае активного участия работника в достижении целей структурного подразделения или университета в целом, добавляется переменная часть оплаты его труда, выплачиваемая за выполнение определённых условий премирования. Данные критерии премирования в первую очередь связаны с качеством труда самого работника, его особыми личными достижениями, участием в общеуниверситетской деятельности, они компенсируют срочность выполнения работ, а также необходимость выполнения дополнительного объёма работ.

Величина переменной части заработка должна быть достаточно ощутимой для работника чтобы выполнять мотивирующие и стимулирующие функции к повышению качества или интенсивности труда, при этом не может превышать, по мнению специалистов в области управления персоналом, доли в общем заработке в размере 40 процентов. За соблюдением данного соотношения необходимо следить.

Использование критериев эффективности работы работников административно-управленческого и вспомогательного персонала связано в первую очередь с предоставлением возможностей карьерного продвижения и роста профессионального мастерства представляется необходимым путем включения данных критериев в индивидуальные планы развития сотрудников.

Установление подобных стимулирующих задач осуществляются с согласия самого работника и носят в целом рекомендуемый, но необязательный характер. Их выполнение или невыполнение никак не должно отражаться на основном заработке работника. Однако, участие сотрудника в разработке критериев и их выполнении в рамках индивидуального плана сотрудника означает его готовность к дальнейшему профессиональному обучению и росту, к активному участию в повышении результативности работы университета. Вариант индивидуального плана сотрудника, с примером, используемых во ВГУВТ показателей продемонстрирован в табл. 2.

Таблица 2

**Некоторые критерии индивидуального плана развития сотрудника**

п/п	Критерии	балл
1	<b>УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ РАБОТА</b>	
1.1.	Разработка нового дистанционного, электронного курса обучения.	
1.2.	Издание учебно-методической литературы (учебников, учебно-методических пособий)	
...		
2	<b>ПРОФОРИЕНТАЦИОННАЯ РАБОТА</b>	
2.1.	Участие во всероссийской (региональной, межвузовской и т.д.) олимпиаде	
2.2.	Личное участие в общественно-значимых мероприятиях вуза и города	
...		
3	<b>НАУЧНАЯ РАБОТА</b>	
3.1.	Защита диссертации на соискание ученой степени	
3.2.	Присвоение ученого звания	
3.3.	Участие в научных (научно-практических конференциях)	
3.4.	Публикация научной статьи (монографии)	
...		
4	<b>ВОСПИТАТЕЛЬНАЯ РАБОТА</b>	
4.1.	Участие в мероприятиях связанной с гражданско-патриотической деятельностью	
...		
5	<b>ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБУЧЕНИЕ</b>	
5.1.		
...		
6	<b>ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ РАБОТЫ</b>	
6.1.	Подготовка пакета технологической и конструкторской документации	
6.2.	Выпуск опытного образца на основе подготовленной документации; испытание образца.	
...		
7	<b>ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ</b>	
7.1.	Повышение квалификации, час	
7.2.	Профессиональная переподготовка	
...		
8	<b>МЕЖДУНАРОДНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ</b>	
8.1.		

Подобные меры по стимулированию труда работников используются во многих крупных организациях и не только бюджетных, используются везде, где есть понимание, что текучесть кадров и привлечение к работе безразличных сотрудников значительно снижает общую эффективность. Все мероприятия, направленные на привлечение и сохранение квалифицированных и лояльных к организации сотрудников, их профессиональный рост и ротация, создание кадрового резерва, доказали свою эффективность.

Участие в практической реализации показателей индивидуального плана развития сотрудника способствует созданию необходимых условий их выполнения со стороны руководства. Стремясь к повышению позиции в рейтинге университетского комплекса в перечне лучших вузов страны, не следует игнорировать такой важнейший фактор роста производительности как совершенствование организации труда административно-управленческого и вспомогательного персонала.

Для совершенствования организации труда и его оплаты сотрудников университета необходимо осуществлять своевременные изменения в организационных и технических условиях труда всех категорий персонала.

Изменение этих условий, по нашему мнению, неизменно должно повлечь отказ от устаревших подходов к организации труда участников образовательного процесса и внедрение новых ее элементов на всех уровнях. Наиболее значимыми изменениями, по нашему мнению, являются:

- обеспечение равной интенсивности работ на всех рабочих местах;
- максимально возможный охват нормированием выполняемых видов работ;
- пересмотр приемов и методов труда;
- пересмотр, уточнение и регламентацию трудовых функций, выполняемых всеми категориями персонала в ходе реализации учебного процесса;
- высвобождение преподавательского состава от выполнения вспомогательных и низко квалифицированных видов работ, а также работ, непосредственно не связанных с учебной, методической и научной работой;
- оптимизацию численности вспомогательного персонала, обеспечивающего реализацию учебного процесса, внедрение в штат новых специалистов (например, психологов, ИТ-специалистов) и высвобождение устаревших штатных единиц;
- оптимизацию режимов труда и отдыха;
- совершенствование организации оплаты труда;
- планирование карьеры, в том числе научной;
- создание благоприятных условий труда;
- своевременное обеспечение деятельности участников учебного процесса всем необходимым;
- сохранение положительного психологического климата и др.

Формирование перечня критериев индивидуального плана сотрудника может осуществляться по таким направлениям как: научно-исследовательская, методическая, опытно-конструкторская деятельность, участие в воспитательной работе или мероприятиях по переподготовке, либо повышению квалификации.

Административно-управленческий и вспомогательный персонал университета связан также с процессами взаимодействия со студентами, учебные будни которых в достаточной мере на сегодняшний день погружены в новые приемы и методы организации и осуществления учебного процесса. Во ВГУВТ идет процесс совершенствования цифровой эко среды, обеспечение удобства интерфейса цифровых образовательных платформ, используемых вузом и др.

Так, практика ВГУВТ в рамках реализации федеральной программы «Искусственный интеллект» показала, что наиболее актуальными вопросами настоящего момента являются:

- совершенствование путей доступа слушателям к самой актуальной информации, связанной с организацией учебного процесса;
- мобильные навигаторы по пространствам университета;
- организация производственной практики;
- совершенствование навыков программирования и использования цифровых технологий в образовательном процессе;
- расширение использования VR – технологий в углублении практических навыков будущих выпускников, в том числе в гуманитарных направлениях;
- создание баз данных по научным, учебным и спортивным достижениям учащихся;
- решение вопросов антитеррористической укреплённости вуза;
- совершенствование системы помощи в трудоустройстве будущих специалистов и др.

Новая традиция – привлечение к созданию цифровой экосистемы университетского комплекса курсантов, студентов и магистрантов в рамках

ежегодного хакатона, показала хорошие результаты. Командное или индивидуальное участие в мероприятии позволяет не только способствовать развитию профессионального сообщества и цифровых компетенций обучающихся, но и привлечь к решению практических задач будущих профессионалов. Проведённый в декабре 2022 года II Хакатон «Цифровая экосистема ВГУВТ – взгляд в будущее» продемонстрировал активное участие слушателей среднего и высшего звена и подтвердил особый интерес к движению цифровых добровольцев (волонтеров).

Предложенные курсантами, студентами и магистрантами решения не только продемонстрировали круг первоочередных задач, но и показали готовность обучающихся принимать активное участие в совершенствовании учебного процесса.

Причем круг актуализированных участниками вопросов усложнялся по мере «профессионального роста» слушателей. Так, вопросы ускорения адаптации к учебному процессу волнуют только приступивших к учебе студентов и курсантов, вопросы приобретения более глубоких практических умений и навыков – слушателей средних курсов, а вопросы будущего трудоустройства – старшекурсников.

Основные темы разработок студентов таким образом навеяны так называемыми «узкими местами» образовательного процесса, в которых образование еще не совсем поспевает за стремительной цифровизацией окружающей действительности.

Выполнение всех видов деятельности по организации, обслуживанию и контролю данных работ предстоит именно административно-управленческому и вспомогательному персоналу.

### **Обсуждение**

Вместе с тем хотим отметить особенности практической реализации так называемой новой системы оплаты труда (НСОТ), которая реализуется в некоторых образовательных учреждениях. НСОТ инициируется разработчиками как современная альтернатива Единой тарифной сетки, которая долгое время практиковалась в нашей стране, отказ от которой был связан с ее неэффективностью и аргументирован тем, что тарифный разряд, устанавливающийся за квалификацию и стаж слабо отражает результативность работы, а значит, не стимулирует к эффективности и повышению качества труда. Основным аргументом «за» по мнению разработчиков служит то, что оклад, который соответствовал определенному квалификационному разряду по стажу и категории сотрудника, практически никак не влиял на размер заработной платы.

НСОТ предлагает использовать принцип распределения зарплатных фондов: руководители получают единоличное право распоряжаться их распределением, назначая разные суммы в зависимости от количества и качества труда каждого сотрудника бюджетной сферы, поощряя более успешных и квалифицированных. Таким образом мы видим закономерное предложение перейти на принципы бестарифной модели оплаты труда.

Бестарифные модели используют, когда квалификация работников представляется примерно равной, что возможно на небольших предприятиях или в отдельных структурных подразделениях и, как показывает практика, к ним обращаются в периоды неустойчивых финансовых и экономических условий. В этом случае заработки работников отличаются значительным разбросом во времени по своей величине, чего нет при тарифной модели, не избавляя таким образом работника от ситуации «в этом месяце густо, а завтра пусто». Безусловно данная модель способна активно реализовать краткосрочные или разовые возможности роста заработков, игнорируя позитивные преимущества уверенности в стабильном заработке и стабильном стимулирующем воздействии результативных критериев.

В свою очередь тарифная модель, основанная на дифференциации работников по уровню квалификации (разрядам) вполне справляется с задачами мотивации работника к повышению качества и результативности труда. Переход от разряда к разряду достигается ростом уровня профессионализма. Это значит, что

результативность и качество труда такого работника растет не разово, а перманентно и используется в течении многих лет. Работник более высокого разряда способен трудиться лучше, чем работник более низкого разряда. Поэтому имеет право на более высокую оплату труда. Но, также работник более низкого разряда при выполнении необходимых условий индивидуального плана развития может рассчитывать на присвоение ему более высокой категории.

Таким образом, прочие достижения – выполнение условий премирования, а также критериев индивидуального плана являются инструментами дифференциации качества работы сотрудников в рамках одного или близких разрядов. Подобные выплаты не только выполняют выравнивающую в оплате труда роль с точки зрения справедливой его оплаты по затраченным усилиям. Как раз они служат стимулом к достижению краткосрочных планов, при этом их выполнение может быть вполне вписано в рамки трудовой карьеры или переходу к более высокому разряду. Распределение средств на осуществление подобных выплат как раз и осуществляется в рамках конкретного подразделения или рабочей группы за счет сэкономленных или заработанных средств.

Для того что организовать эффективную окладную (тарифную) модель, необходимо устанавливать научно обоснованные нормы труда, соблюдать интервал тарифной сетки (который будет стимулировать работника к повышению собственного разряда) путем формирования ее, например, в прогрессивном виде; активно использовать формирование постоянной и переменной части заработка, разрабатывая показатели премирования и критерии качества в рейтинговой системе и системе индивидуальных планов развития, что и реализуется во ВГУВТ.

### **Заключение**

Таким образом преимущества перехода крупных организаций с окладного на дифференцированный подход представляются нами как рекомендательные. Формирование фонда заработной платы в университете осуществляется в основном за счет средств бюджетных ассигнований за выполнение непосредственной основной образовательной деятельности.

Что касается мнения о неэффективности ЕТС (единой тарифной сетки), то стоит отметить, что после отказа от нее в 2008 году, не было создано так необходимого в практической деятельности эффективного аналога или четко регламентирующей эти вопросы нормативно-законодательной базы в области организации, нормирования и оплаты труда. По настоящее время многие задачи нормирования труда, в частности, и организации труда в целом, включая организацию заработной платы большинства категорий работников отдано на откуп руководителей организаций.

В заключении хотелось бы отметить следующее. Образование как сфера деятельности не может и не должна развиваться в условиях рыночной конкуренции. Сфера образования не должна относиться к деятельности, находящейся в поле прямого интереса бизнеса и рыночной среды. Образование выполняет важнейшие социально-экономические задачи общества и поэтому должно находиться в сфере интересов государственного регулирования.

Это означает, что не только цели долгосрочного развития вуза разрабатываются в рамках государственных долгосрочных социально-экономических программ. Сама структура и принципы осуществления хозяйственной деятельности образовательного учреждения должны быть построены на основе научных моделей и систем, и, таким образом, служить образцом наиболее эффективных форм организации труда для прочих рыночных субъектов.

### **Список литературы:**

1. Гагаев С. Ю. Проблемы и перспективы развития внутреннего водного транспорта в российской федерации // Научный взгляд в будущее. 2016. Т. 1. № 2. с 46-50. URL <https://elibrary.ru/item.asp?edn=whatskx> (дата обращения 22.05.2023).
2. Доклад Ректора ВГБОУ ВГУВТ: <https://morflot.gov.ru/news/lenta/n5871.html> (дата обращения 22.05.2023).
3. Богданов Д.В. Построение сетей коммуникации будущих специалистов в системе высшего образования. // Великие реки 2015: Материалы международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». 2015. URL: <http://вф-река-море.рф/2015/PDF/35.pdf> (дата обращения 22.05.2023).
4. Хоменко, Я.В. Взаимосвязь системы показателей долгосрочной и краткосрочной эффективности с системой мотивации труда // Экономика труда. 2019. Т. 6. № 2. с. 855-862.
5. Пыжова Ж.Ю., Чернева Р.И. Совершенствование компетентностного подхода в сфере подготовки кадров транспортной отрасли. // Великие реки 2020. Труды 22-го международного научно-промышленного форума. 2020. С. 151.
6. Кувшинова Е.А., Чернева Р.И. Установление равнонапряженных норм как условие роста производительности труда на предприятиях (транспорта). // Великие реки - 2020. Труды 22-го международного научно-промышленного форума. 2020. С. 141.
7. Борисова А.А., Дмитриева Л.И., Рязанцева И.В. Кадровое обеспечение вуза: ограничители роста и результативности // Экономика труда. 2020. Т. 7. № 12. С. 1269-1280. – doi: 10.18334/et.7.12.111256
8. Молокова Е.Л., Устюжанин В.Л. К сравнительной характеристике национальных моделей организации высшего образования // Российский экономический журнал. 2021 С. 109.
9. Каравашкина Р.И., Гуро-Фролова Ю.Р., Киселева Е.В. Заработная плата и благоприятные условия труда как факторы совершенствования труда интеллектуальных работников (на примере преподавателей вуза) // Экономика труда. 2022. Т. 9. № 10. С. 1645-1658.
10. Демин М. В., Шушарина Н. Н. Модель повышения эффективности деятельности административно-управленческого персонала федерального университета DOI: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2020-29-11-9-20>
11. Каравашкина Р.И., Гуро-Фролова Ю.Р., Федотова Е.М. // Снижение последствий влияния синдрома эмоционального выгорания на результативность работы преподавателя и вуза в целом. // Экономика труда. 2022. Т. 9. № 9. С. 1453-1472.

#### References

1. Gagaev S. Yu. Problems and prospects of development of inland water transport in the Russian Federation // A scientific look into the future. 2016. Vol. 1. no. 2. from 46-50. URL <https://elibrary.ru/item.asp?edn=whatskx> (date of appeal 22.05.2023).
2. Report of the Rector of VGBOU VGUVT: <https://morflot.gov.ru/news/lenta/n5871.html> (accessed 22.05.2023).
3. Bogdanov D.V. Building communication networks of future specialists in the higher education system. // Great Rivers 2015: Materials of the International scientific and methodological conference. FGBOU VO "VGUVT". 2015. URL: <http://вф-река-море.рф/2015/PDF/35.pdf> (accessed 22.05.2023).
4. Khomenko, Ya.V. The relationship of the system of indicators of long-term and short-term efficiency with the system of labor motivation // Labor economics. 2019. Vol. 6. No. 2. pp. 855-862.
5. Pyzhova Zh.Yu., Cherneva R.I. Improving the competence approach in the field of personnel training in the transport industry. // Great Rivers 2020. Proceedings of the 22nd International Scientific and Industrial Forum. 2020. p. 151.
6. Kuvshinova E.A., Cherneva R.I. Establishment of equally stressed norms as a condition for labor productivity growth at enterprises (transport). // Great Rivers - 2020. Proceedings of the 22nd International Scientific and Industrial Forum. 2020. p. 141.
7. Borisova A.A., Dmitrieva L.I., Ryazantseva I.V. University staffing: growth and performance constraints // Labor economics. 2020. Vol. 7. No. 12. pp. 1269-1280. – doi: 10.18334/et.7.12.111256

8. Molokova E.L., Ustyuzhanin V.L. On comparative characteristics of national models of higher education organization // Russian Economic Journal. 2021 p. 109.
9. Karavashkina R.I., Guro-Frolova Yu.R., Kiseleva E.V. Wages and favorable working conditions as factors of improving the work of intellectual workers (on the example of university teachers) // Labor Economics. 2022. Vol. 9. No. 10. pp. 1645-1658.
10. Demin M. V., Shusharina N. N. A model for improving the efficiency of the administrative and managerial staff of the Federal University DOI: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2020-29-11-9-20>
11. Karavashkina R.I., Guro-Frolova Yu.R., Fedotova E.M. // Reducing the effects of the influence of emotional burnout syndrome on the effectiveness of the work of a teacher and the university as a whole. // Labor Economics. 2022. Vol. 9. No. 9. pp. 1453-1472.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Пыжова Жанна Юрьевна**, к.э.н., доцент, заведующая кафедрой экономики и менеджмента, проректор по экономической деятельности и информационной политике. ФГБОУ ВО ВГУВТ, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, [pyzhova.zu@vsuwt.ru](mailto:pyzhova.zu@vsuwt.ru)

**Каравашкина Рената Ивановна**, кэн, доцент, доцент кафедры экономики и менеджмента ФГБОУ ВО ВГУВТ, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [ren3004@mail.ru](mailto:ren3004@mail.ru)

**Zhanna Y. Pyzhova**, Candidate of Economics, Associate Professor, Head of the Department of Economics and Management, Vice-Rector for Economic Activities and Information Policy.VSUVT. 603951, Nizhny Novgorod, st. Nesterova, [pyzhova.zu@vsuwt.ru](mailto:pyzhova.zu@vsuwt.ru)

**Renata I. Karavashkina**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Management, VSUVT. 603951, Nizhny Novgorod, st. Nesterova, 5, e-mail: [ren3004@mail.ru](mailto:ren3004@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 28.06.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 28.06.2023; published online 20.09.2023.

УДК 656.6

DOI: 10.37890/jwt.vi76.389

## **Анализ условий расширения участия речного транспорта в перевозках зерновых культур по МТК «Север – Юг»**

**В.В. Цверов**

*ORCID: 0000-0003-0835-4615*

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

**Аннотация.** В настоящей статье исследуется возможность перевозок зерновых культур, производимых в регионах Волжско-Камского бассейна водных путей, по международному транспортному коридору (МТК) «Север – Юг» речным транспортом (массовому навалочному грузу, традиционно тяготеющему к этому виду транспорта). С этой целью дана оценка готовности речных портов Волжско-Камского бассейна водных путей к отправке зерновых грузов водным транспортом по МТК «Север – Юг». Рассмотрены существующие и предложены новые цепи поставок зерновых культур, позволяющие увеличивать объемы перевозок зерновых грузов по внутренним водным путям в страны Центральной и Южной Азии. Определена основная причина слабой вовлеченности речного транспорта – это сезонность работы внутренних водных путей европейской части страны. Предложен способ решения данной проблемы при перевозках зерновых грузов по МТК «Север – Юг», заключающийся в создании зернового хаба в одном из морских портов Каспийского моря, обеспечивающем прием, хранение и отгрузку в межнавигационный период зерновых культур, завозимых на него речными судами в навигационный период. Разработана модель грузопотоков зерновых культур по внутренним водным путям МТК «Север - Юг» с учетом создания зернового хаба.

**Ключевые слова:** международный транспортный коридор «Север - Юг», элеваторы и зерновые терминалы, зерновой хаб на Каспийском море, внутренние водные пути, поставка и перевозка зерновых культур.

## **Analysis of conditions of expanding river transport participation in the grain crops shipment along the ITC «North – South»**

**Vladimir V. Tsverov**

*ORCID: 0000-0003-0835-4615*

*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract:** In the article the possibility of transporting grain crops produced in the regions of the Volga-Kama basin waterways along the international transport corridor (ITC) "North – South" by river transport is studied (mass bulk cargo, traditionally appropriate for this type of transport). For this purpose, the readiness of river ports of the Volga-Kama waterways basin for grain cargo shipment by water transport along the ITC "North – South" was assessed. Existing and proposed new chains for grain cargo delivery, which allow to increase the volume of grain cargo transportation by inland waterways to the countries of the Central and South Asia, have been considered. The main reason for river transport weak involvement as the seasonal nature of the internal waterways in the European part of the country was determined. A way of solving the problem of transporting grain cargo along the North – South ITC has been offered. This solution consists in creating a grain hub at one of the seaports of the Caspian Sea to receive, store and dispatch grain cargo delivered by the river ships during the navigation period between the navigations. The model of grain crops cargo flows along the inland waterways of the ITC "North – South" taking into account a grain hub creation was developed.

**Keywords:** international transport corridor “North – South”, elevators and grain terminals, grain hub on the Caspian Sea, inland waterways, grain crops supply and transportation

### **Введение**

Одной из целей Транспортной стратегии России является встраивание транспортной системы в мировую транспортную сеть, которое позволяет полнее использовать экспортный и транзитный потенциал территории страны и повышать эффективность внешнеэкономической деятельности российских производителей.<sup>3</sup>

К инструментам обеспечения указанной цели относится создание международных транспортных коридоров (МТК). [1]

В связи с интенсивным развитием торговых отношений с азиатским рынком одним из таких МТК является коридор «Север–Юг», призванный обеспечить транспортную связь между Европейской частью России и странами Балтии с Индией, Пакистаном и другими странами через Иран. Его протяжённость составит 7,2 тысячи километров [2]. Основными преимуществами транспортного коридора «Север – Юг» перед другими маршрутами (в частности перед морским маршрутом через Суэцкий канал) являются: сокращение в два и более раза расстояния перевозок, а также снижение стоимости перевозки, по сравнению со стоимостью транспортировки по морскому пути [3]. «Роль коридора Север – Юг в настоящее время возрастает, что связано с санкциями в адрес России, смещением центров экономической активности в Китай, страны Юго-Восточной Азии и Персидского залива. Транспортная инфраструктура России и сопредельных стран, которая формировалась по принципу параллелей, перестаёт отвечать глобальным тенденциям, поскольку сейчас ключевую роль начинают играть меридиональные маршруты, и в частности, маршрут Север – Юг.»<sup>4</sup>

Межправительственное соглашение о создании МТК «Север – Юг» странами-участницами (Россия, Иран и Индия) было подписано 12 сентября 2000 года в ходе второй Евроазиатской конференции по транспорту в Санкт-Петербурге. Постепенно к нему присоединились Белоруссия, Казахстан, Оман, Таджикистан, Азербайджан, Армения, Сирия, Болгария, Киргизия, Турция. В настоящее время одной из наиболее активных стран-участниц является Казахстан, для которого маршрут Север – Юг позволяет переориентировать экспортные поставки через территорию России и Чёрное море в страны Персидского залива. При этом для Казахстана целевым грузом является зерно, а не контейнеры. Коридор предусматривает три основных маршрута грузов относительно Каспийского моря [4] (рис.1).

---

<sup>3</sup> Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902132678>

<sup>4</sup> Международный транспортный коридор «Север –Юг»  
<https://cargo.rzd.ru/api/media/resources/18870886>



Рис. 1. Маршруты МТК «Север – Юг» относительно Каспийского моря  
 Источник: <https://cargo.rzd.ru/api/media/resources/1887088>

**Транскаспийский:** с российской стороны маршрут проходит через порты Каспийского бассейна Астрахань, Оля, Махачкала и порты Ирана. К порту Оля в 2003-2004 г. была построена железнодорожная ветка. Движение по которой началось в июле 2004 года. В первом полугодии 2010 года в порт Оля прибыло 5700 вагонов груза для отправки в Иран. С иранской стороны маршрут проходит через порты Бендер-Энзели, Амирабад и Ноушехр. В июне 2022 года начата перевозка по Транскаспийскому маршруту грузов из России в Индию; доставка занимает 25 дней. Al Jazeera сообщила, что в июле 2022 еще как минимум 39 контейнеров были доставлены из России в индийский порт Нхава-Шева. Запуск маршрута поможет России преодолеть последствия санкционных ограничений на доступ к европейским рынкам. [4]<sup>5</sup>

**Восточный:** прямое железнодорожное сообщение через Казахстан, Узбекистан и Туркменистан с выходом на железнодорожную сеть Ирана по железнодорожным пограничным переходам Теджен (Туркменистан) – Серахс (Иран) и Акяйла (Туркменистан) – Инче Бурун (Иран). Перестановка тележек осуществляется на станции Серахс[3]. Кроме того в 2014 году построена новая ветвь через Болашак (напрямую из Казахстана в Туркмению) в Иран по пограничному переходу Этрек – Горган.

**Западный:** прямое железнодорожное сообщение через Астрахань – Махачкалу – железнодорожный пограничный переход Самур (Россия) – Ялама (Азербайджан), далее по территории Азербайджана до пограничного перехода станции Астара (Азербайджан) – Астара (Иран). По территории Ирана транзит должна обеспечивать строящаяся линия Астара – Решт – Казвин. Для полноценного функционирования западного маршрута нужно достроить недостающий железнодорожный участок

<sup>5</sup> Ильюшенко Д., Гринкевич Д. Россия предлагает создать единого оператора коридора Север — Юг с Ираном и Азербайджаном. <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2022/10/28/947955-rossiya-predlagaet-edinogo-operatora>

между Рештом в Иране и Астарой в Азербайджане. Сейчас грузы на этом участке перевозятся автотранспортом, что сдерживает развитие всего коридора протяженностью 7200 км из-за необходимости двойного перегруза товара с одного вида транспорта на другой. Азербайджан еще в 2017 г. выделил Ирану льготный кредит в размере \$500 млн на строительство недостающей части отрезка. В целом строительство этой линии оценивалось в \$2 млрд. Кроме того, Россия планирует выделить \$1,5 млрд на развитие коридора до 2030 г. В частности, предполагается участие РЖД в строительстве линии от Астары до Решта (164 км) и электрификации линии Гармсар – Инче-Бурун (495 км) в Иране. Таким образом поезда из России пойдут через Азербайджан, Иран, а затем грузы направятся через порт Чехбехар – морским путем в Индийский Мумбаи. Торговые маршруты, помимо Индии, могут быть проложены в Ирак, Кувейт, Катар, ОАЭ, Саудовскую Аравию, Оман, Йемен, Шри-Ланку. [4]<sup>6</sup>

По оценкам коридор «Север – Юг» к 2030 году сможет перевозить до 25 миллионов тонн грузов в год, что составляет 75 процентов от общего объема контейнерных перевозок между Евразией, Южной Азией и Персидским заливом [4]. При этом следует отметить, что внутренний водный транспорт в настоящее время в проектах по данному направлению деятельности рассматривается, а по факту участвует в малой степени [1, 3, 5, 6].

Исследования в части оценки возможности участия внутренних водных путей (ВВП) в перевозках по МТК «Север – Юг» проводились в Волжском государственном университете водного транспорта (ВГУВТ). При этом использование ВВП европейской части страны в международных перевозках в основном рассматривалось для возможности перевозок крупнотоннажных контейнеров. В 2001 г. диссертация Головенко Д. Е. «Обоснование участия речного транспорта России в работе мультимодальных контейнерных маршрутов : на примере коридора «Север – Юг»» [7] обосновал необходимость создания в структурах коммерческих служб российских речных портов и судоходных компаний экспедиционных отделов, первоочередными задачами которых стали бы изучение рынка контейнерных перевозок по секторам и разработка мероприятий по внедрению экономически обоснованных речных перевозок в работу действующих или новых контейнерных маршрутов.

В 2004 г. в диссертации Ермакова С.В. «Обоснование использования грузовых терминалов речных портов в международных транспортных коридорах (на примере коридора «Север – Юг»)» [6] была доказана актуальность и возможность использования транспортного потенциала ВВП для обеспечения роста выручки от экспорта транспортных услуг. При этом отмечалось, что внешнеторговые грузопотоки требуют технологического обслуживания высокого уровня, а также соответствующих перегрузочных мощностей, а объекты ВВП РФ не в полной мере отвечают международным требованиям к портовой инфраструктуре для перевозок крупнотоннажных контейнеров. Кроме того, они имеют низкую информационную прозрачность, а для разработки цепей поставок в современное время важно иметь информацию по логистическим параметрам обслуживающих грузопоток терминалам (в данном случае речным портам). Как показывают исследования, на сайтах речных портов нет основных из них – тарифов на портовое обслуживание и норм времени их выполнения и даже не везде есть требования к основным параметрам обслуживаемых судов. При этом других доступных для логистов (разрабатывающих цепи поставок) источников информации по речным портам России нет [9, 10, 11].

В настоящее время стоит актуальная задача обеспечения экспортных перевозок зерновых культур и удобрений из России в связи с постоянно вводимыми санкциями стран запада против нашей страны. Требуется оценка возможности включения

<sup>6</sup> Ильюшенков Д., Гринкевич Д. Россия предлагает создать единого оператора коридора Север — Юг с Ираном и Азербайджаном. <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2022/10/28/947955-rossiya-predlagaet-edinogo-operatora>

речного транспорта для перевозки этих грузов на определенных участках МТК «Север – Юг». Целесообразность перевозок удобрений речным транспортом по МТК «Север – Юг» доказывается в публикации Гончаровой Н.В. [12].

В настоящей статье исследуется возможность перевозок только зерновых культур, как традиционно тяготеющих к данному виду транспорту. Наиболее эффективная сфера использования речного транспорта – это перевозка массовых сезонных грузов, к которым относятся зерновые культуры. Об актуальности исследований в данном направлении говорит то, что на сегодняшний день перевозки зерна морским путем, пролегающим по Каспийскому морю, составляет 15 миллионов тонн ежегодно.

Оценим состояние портовой инфраструктуры на ВВП Европейской части РФ, обеспечивающей отгрузку зерновых культур в речные суда.

### **Оценка зерновых терминалов на ВВП, тяготеющих к МТК «Север – Юг»**

На внутренних водных путях РФ погрузка зерновых грузов в суда осуществляется в основном на причалах необщего пользования (причалах принадлежащих владельцам приречных элеваторов и зерновых терминалов) и в небольшой доле в портах общего пользования (в основном по варианту перегрузочных работ автомобиль – судно).

Часть приречных элеваторов:

- прекратило свое существование (в Н. Новгороде, Самаре) из-за не востребоваемости в 90-е годы;
- другие успешно выдержали это время (в Волгодонске (рис. 2), Волгограде (рис. 3), Набережных Челнах, Воскресенске под Саратовом (рис. 4), Ростове-на-Дону (рис. 5)) и как видно с фотографий, находятся в хорошем рабочем состоянии;<sup>7</sup>
- построены и введены в строй новые (элеваторо-мельничный комплекс «ЖИТО» в Самарской области (рис.6)<sup>8</sup>, зерновой терминал «Волга» в Ивановской области (рис. 7)<sup>9</sup>);
- строится в Старой Майне в Ульяновской области (рис. 8)<sup>10</sup>;
- планируется и обсуждается строительство новых зерновых терминалов (Н. Новгород и др.)<sup>11,12</sup>.

<sup>7</sup> Мерзляков Р. В Волгограде впервые начали поставлять зерно в Иран водным транспортом / Российская газета - Экономика Юга России: №22(8076)/ <https://rg.ru/2020/02/04/reg-ufo/nachalis-postavki-zerna-vodnym-transportom-iz-volgograda-v-iran.html>

<sup>8</sup> ООО «ЖИТО» / Официальный сайт. <https://zerno-zhizni.ru/projects/mukomolnye-predpriyatiya/ooo-zhito/>

<sup>9</sup> ЗАО «Зерновой терминал Волга» / Официальный сайт. <https://grainrus.com/o-gruppe/zernovoy-terminal-volga/>

<sup>10</sup> Татарстанская компания вложит 600 млн руб. в строительство речного зернового терминала в Ульяновской области. <https://zerno.ru/node/10543>

<sup>11</sup> Шакурова Е. В Нижегородской области может появиться зерновой терминал. <https://www.agroinvestor.ru/regions/news/35768-v-nizhegorodskoy-oblasti-mozhet-poyavitsya-zernovoy-terminal/>

<sup>12</sup> «Ресурс» намерен построить в Волгоградской области зерновой элеватор стоимостью 1,9 млрд руб. <https://www.interfax-russia.ru/south-and-north-caucasus/news/resurs-nameren-postroit-v-volgogradskoy-oblasti-zernovoy-elevator-stoimostyu-1-9-mlrd-rub>



Рис. 2. Волго-Донской элеватор

Источник: <https://www.agroinvestor.ru/investments/news/30833-agrokholding-vladimira-evtushenkova-priobrel-elevatory/>



Рис. 3. Погрузка зерна в судно смешанного река-море типа на ООО «Волгоградский элеватор»

Источник: <http://volgograd-elevator.ru/>



Рис. 4. Воскресенский зерновой терминал на Волге под Саратовом  
Источник: <https://www.business-vector.info/perspektivnyj-voskresenskiy-zernovoj-terminal-155586/>



Рис. 5. Ростовский зерновой терминал  
Источник: <https://www.panram.ru/news/constructing/amerikantsy-mogut-prodat-rostovskiy-zernovoy-terminal/>



Рис. 6. Погрузка зерна в речное судно  
на элеваторно-мельничный комплекс «ЖИТО» в Самарской области  
Источник: <https://zerno-zhizni.ru/projects/elevatory/elevatory/>



Рис. 7. Зерновой терминал «Волга» в Ивановской области

Источник:

[https://yandex.ru/maps/org/zernovoy\\_terminal\\_volga/1012959399/gallery/?ll=42.073908%2C57.481631&photos%5Bbusiness%5D=1012959399&photos%5Bid%5D=urn%3Ayandex%3Asprav%3Aphoto%3AH0ZwbWwueeLNE6r19t3TWFf\\_z5mzhseh0&z=6](https://yandex.ru/maps/org/zernovoy_terminal_volga/1012959399/gallery/?ll=42.073908%2C57.481631&photos%5Bbusiness%5D=1012959399&photos%5Bid%5D=urn%3Ayandex%3Asprav%3Aphoto%3AH0ZwbWwueeLNE6r19t3TWFf_z5mzhseh0&z=6)



Рис. 8. Зерновой терминал в Старой Майне в Ульяновской области  
Источник: <https://ulpressa.ru/2020/06/25/в-старой-майне-за-полмиллиарда-рублей/>

В целом портовая инфраструктура по отгрузке зерна из приречных регионов европейской части РФ есть. Исключением является Нижегородская область, в которой в настоящее время нет специализированного зернового терминала для отправки водным транспортом. В настоящее время ведутся обсуждения по созданию такого терминала.

Отсутствие приречных элеваторов, не исключает возможность отгрузки зерна в суда. Для этого может использоваться технология по варианту автосамосвал – судно, успешно применяемая в ПАО «Астраханский порт».

Информация по специализированным зерновым терминалам, могущим отгружать зерновые грузы в суда в субъектах РФ, связанных ВВП с южными воротами в МТК «Север – Юг» сведены в табл. 1. Емкость их зерновых хранилищ, как видно из таблицы, превышает 540 тыс. т. Что говорит о достаточно большой инфраструктурной базе для регулярных отправок зерновых грузов в судах по ВВП.

Кроме того, генеральный директор АО «Ленгипроречтранс» Белкин П.В. на форуме «Транспорт: горизонты развития» (14.06. 20023 г.) в своем докладе «Перспективные проекты развития внутренних водных путей и портовой инфраструктуры» заявил, что ими созданы проекты зерновых терминалов небольшой мощности для отгрузки зерна в суда, имеющие относительно небольшую стоимость (доступную для сельхоз производителей) и они готовы при наличии отладки каналов доставки по водным путям зерновых культур к их строительству.

Что касается грузовой базы перевозок зерновых культур – она есть и может нарастать: управляющий директор Ассоциации «Афанасий Никитин», Гоц И. Г. на форуме «Транспорт: горизонты развития» (14.06. 20023 г.) в своем докладе «Инвестиционный потенциал МТК «Север-Юг» (на примере логистики продукции АПК Поволжья)» отметил, что производители зерновых культур в Поволжье готовы увеличивать производство зерновых культур, но их сдерживает развитие удобных каналов сбыта. В частности, заместитель гендиректора агрохолдинга «АФГ-Националь» А. Ефремов сказал «Коммерсанту», что по Волге (при наличии соответствующей логистической инфраструктуры) из Нижегородской области ежегодно может отгружаться до 600 тыс. т зерна<sup>11</sup>.

Таблица 1

**Характеристика специализированных зерновых терминалов на ВВП МТК «Север –Юг»**

Источник: составлена автором на основе открытых источников

Зерновые терминалы	Место расположения	Погрузка в суда	Сухопутные подходы		Емкость зернохранилищ тыс. т
			железнодорожный	автомобильный	
Зерновой терминал Волга <sup>9</sup>	Ивановская область, г. Первомайск	+	+	+	42
«Чебоксарский элеватор» — филиал АО «Чувашхлебпродукт» <sup>13</sup>	Чувашская республика, г. Чебоксары	-	+	+	48
Зерновой терминал Крутая гора <sup>14</sup>	Татарстан, г. Чистополь	рядом с портом		+	30
Набережночелнинский элеватор <sup>15</sup>	Татарстан, г. Набережные челны	+	+	+	110
Старомайненский зерновой терминал ООО "Логос" (начал работу с тестовом режиме <sup>11</sup>	Ульяновская область, пос. Старая Майна	+		+	6
Элеваторно-мельничный комплекс «ЖИТО» <sup>8</sup>	Самарская область	+	+	+	100
Воскресенский зерновой терминал <sup>16</sup>	Саратовская область	+	+	+	30
ООО «Волгоградский элеватор» <sup>17</sup>	Волгоградская область	+, 3000 т/сут.	+	+	
Портовый накопительно-перегрузочный элеватор (строящийся) <sup>12</sup>	Волгоградская область, г. Калач-на -Дону		+	+	150
ООО «Волгодонской элеватор» <sup>18</sup>	Ростовская область, г. Волгодонск	+, 5000 т/сут.	+	+	79,8
ООО "Ростовский зерновой терминал" <sup>19</sup>	г. Ростов-на-Дону	+, ок. 1 млн. т. в год	+	+	42

<sup>13</sup> Чувашхлебпродукт/ Официальный сайт.

<https://www.chhp.ru/SiteMap.aspx?id=15&parent=1&permit=1>

<sup>14</sup> ООО «Зерновой терминал Крутая гора». ООО «Зерновой терминал Крутая гора. <https://spark-interfax.ru/respublika-tatarstan-chistopol/ooo-zernovoi-terminal-krutaya-gora-inn-1652027110-ogrn-1201600053423-ac6a0945b291230fe053189aa8c0c843>

<sup>15</sup> Набережночелнинский элеватор/ Официальный сайт. <http://agrosila-holding.ru/about-holding/activities/chelny-elevator/>

<sup>16</sup> Перспективный «Воскресенский зерновой терминал» на Волге под Саратовом ушел в банкротство. Но сначала сменил учредителей. <https://www.business-vector.info/perspektivnyj-voskresenskij-zernovoj-terminal-155586/>

<sup>17</sup> ООО «Волгоградский элеватор» / Официальный сайт. <http://volgograd-elevator.ru/>

<sup>18</sup> ООО «Волго-донской элеватор»/ Официальный сайт. <https://www.ahstep.ru/volgodonskoj-elevator>

<sup>19</sup> Bunge продал Ростовский зерновой терминал. <https://seanews.ru/2021/03/29/ru-bunge-prodal-rostovskij-zernovoj-terminal/>

### **Цепи поставки зерновых культур с использованием ВВП**

Зерновые культуры с элеваторов европейской части РФ в Иран и далее в другие южно-азиатские страны могут отправляться по МТК «Север - Юг» в прямом железнодорожном сообщении по описанным выше маршрутам:

Восточному маршруту через Казахстан, Узбекистан и Туркменистан с выходом на железнодорожную сеть Ирана;

Западному маршруту через Астрахань, Махачкалу и территории Азербайджана до станции Астара в Иране;

Транскаспийскому маршруту через порты Каспийского бассейна Астрахань, Оля, Махачкала и порты Ирана.

Рассмотрим подробнее варианты использования Транскаспийского маршрута для перевозок зерновых грузов. В настоящее время используются четыре варианта поставок зерновых культур в Энзели (Иран), имеющий крупный зерновой терминал [13], с участием водного транспорта:

#### **1-й вариант организации поставок по Транскаспийскому маршруту - через зерновые терминалы Астрахани (круглогодично):**

- производители зерновых культур (в основном с прилегающих к Астрахани территорий) при участии зерновых терминалов Астрахани (ПАО «Астраханский порт», ООО «Астраханский зерновой терминал», ООО "Производственно-коммерческая фирма "Волга-Порт"), заключают с покупателем (в основном из Ирана или других южно-азиатских стран) договор на поставку на условиях доставки на причал Астрахани;
- производители доставляют продукцию в эти астраханские зерновые терминалы автотранспортом;
- терминалы принимают продукцию, оказывают услуги, связанные с внешнеторговыми операциями, и отгружают продукцию в морские суда или суда смешанного типа «река-море»;
- перевозка морем из Астрахани до порта Энзели (Иран) осуществляется, как судами РФ, так и иностранных государств;
- в порту Энзели продукция принимается покупателем, перегружается из судов в сухопутные виды транспорта и следует к потребителям.

#### **2-й вариант организации поставок по Транскаспийскому маршруту - морскими судами с зернового терминала в порту Оля (круглогодично):**

- трейдер, базирующийся в порте Оля, закупает зерновые культуры у производителей, расположенных в южных регионах страны (Астраханской и Воронежской областях, Краснодарском и Ставропольском краях, Кабардино-Балкарской республике) на условиях доставки на терминал или самовывоза;
- производители зерновых культур доставляют продукцию на зерновой терминал порта Оля автотранспортом;
- трейдеры принимают продукцию, накапливают ее в зернохранилищах зернового терминала порта Оля, заключают договора на поставку зерновых культур с зарубежными покупателями на условиях доставки в порты Ирана;
- трейдеры заключают договора на перевозку с морскими судоходными компаниями на перевозку зерновых культур в судах, осуществляют операции, связанные с внешнеторговыми сделкой, и отгружают продукцию в суда;
- перевозка морем из Астрахани до портов Ирана осуществляется, как судами РФ, так и иностранных государств;

- в портах Ирана продукция принимается покупателем, перегружается из судов в сухопутные виды транспорта и следует к потребителям.

**3-й вариант организации поставок по Транскаспийскому маршруту - через зерновые терминалы Махачкалы (круглогодично):**

- производители зерновых культур заключают с покупателем (в основном из Ирана или других южно-азиатских стран) договор на поставку на условиях доставки на причал Махачкалы;
- производители доставляют продукцию на зерновой терминал Махачкалы автотранспортом (с прилегающих административных территориальных образований) или железнодорожным транспортом (из других административных территориальных образований);
- терминалы принимают продукцию, оказывают услуги, связанные с внешнеторговыми операциями, и отгружают продукцию в морские суда;
- перевозка морем из Махачкалы до порта Энзели (Иран) осуществляется, как судами РФ, так и иностранных государств;
- в порту Энзели продукция перегружается из судов в сухопутные виды транспорта и следует к потребителям.

**4-й вариант поставок по Транскаспийскому маршруту - в судах смещенного типа с зерновых терминалов на ВВП (в навигационный период):**

- трейдеры элеваторов и зерновых терминалов на ВВП (в основном их владельцы) закупают зерновые культуры у их производителей (с прилегающих к ВВП территорий Волжско-Камского бассейна) на условиях доставки продукции на элеваторы (или условиях самовывоза);
- производители зерновых культур доставляют продукцию на эти элеваторы автомобильным или железнодорожным транспортом;
- трейдеры принимают продукцию, накапливают ее, заключают договора на поставку зерновых культур с зарубежными покупателями на условиях доставки в порты Ирана;
- трейдеры заключают договора на перевозку с речными судоходными компаниями на перевозку зерновых культур в судах смешанного типа «река-море», осуществляют операции, связанные с внешнеторговыми сделкой, и отгружают продукцию в суда. «На элеваторах, принимая грузы с автомобильного и железнодорожного транспорта для отправки по воде, осуществляют входной контроль. Составляются отгрузочные партии. Все анализы проходят в соответствии с иранскими стандартами. Проверяется, не бито ли зерно, есть ли в нем примеси, какова его влажность» [14];
- речная судоходная компания перевозит груз по ВВП, а затем без перегрузки морем из Астрахани до портов Ирана;
- в портах Ирана продукция принимается покупателем, перегружается из судов в сухопутные виды транспорта и следует к потребителям.

Как следует из описания вариантов организации поставок зерновых культур, первые три варианта организации поставки не включают перевозок по ВВП и ориентированы в основном на поставку зерновых культур из южных регионов страны.

И только в четвертом варианте на перевозках используется относительно дешевый речной транспорт, позволяющий обеспечивать сбыт продукции с удаленных от Каспийского моря территорий Волжско-Камского бассейна ВВП. Но и третий вариант поставок имеет существенный недостаток – он возможен только в навигационный период, а его продолжительность на Волге 220 суток. Остальные 145 суток в связи с ледоставом перевозки по этому маршруту не возможны.

Таким образом основная причина слабой вовлеченности ВВП в перевозки по МТК «Север – Юг» является сезонность работы ВВП европейской части страны, а поставки продукции потребителям нужны круглогодично.

### **Цепи поставок зерновых культур с использованием зернового хаба на Каспийском море**

Для снятия выше указанной проблемы предлагается в южных воротах ВВП на МТК «Север – Юг» (в морских портах Каспийского моря) создать хаб для сезонной продукции, производимой в навигационный период. На склады хаба в течение речной навигации можно завозить зерно для дальнейшей круглогодичной отправки морским транспортом по МТК «Север – Юг». Это может быть:

- зерно, на которое есть контракты на поставки из стран Средней и Южной Азии, а также Африки, но в сроки межнавигационного периода;
- зерно, на которое в период навигации еще нет контрактов на поставки, но есть прогнозы на поставки в страны Средней и Южной Азии, а также Африки;
- зерно, на которое есть контракты на поставки из стран Средней и Южной Азии, а также Африки, в период речной навигации, в тех случаях, когда по стоимости доставки выгоднее использовать цепь поставки с звеном перевозки речным транспортом;
- зерно, государственного стратегического запаса, часть которого по решению правительства в определенные периоды может быть продана за рубеж.

Как показано на рис. 9, использование зернового Каспийского хаба позволит обеспечить круглогодичные поставки потребителям зерновых культур в странах Центральной и Южной Азии, Аравийского полуострова и Африки.

Создание зернового хаба на Каспийском море даст возможность осуществлять поставки зерновых культур в межнавигационный период с участием внутреннего водного транспорта (с более низкими затратами на доставку по сравнению с железнодорожными вариантами). Ниже приведены два таких варианта.

#### **5-й вариант поставок по Транскаспийскому маршруту - речными судами с зерновых терминалов на ВВП через порты на Каспийском море (при поставках в межнавигационный период):**

- трейдеры элеваторов на ВВП закупают зерновые культуры у их производителей (с прилегающих к ВВП территорий Волжско-Камского бассейна) на условиях доставки продукции на элеваторы (или условиях самовывоза);
- производители зерновых культур доставляют продукцию на эти элеваторы автомобильным или железнодорожным транспортом;
- трейдеры элеваторов на ВВП принимают продукцию, накапливают ее, заключают договора на поставку зерновых культур с зарубежными покупателями на условиях доставки в порты Ирана, в том числе в межнавигационный период;
- трейдеры элеваторов на ВВП заключают договора на перевозку с речными судоходными компаниями на перевозку зерновых культур в речных судах в навигационный период до зернового терминала на Каспийском море на объемы поставок в межнавигационный период;
- речная судоходная компания перевозит груз с элеваторов на ВВП до зерновых терминалов портов Каспийского моря;
- на зерновых терминалах груз выгружают и помещают в соответствии с договором с трейдерами элеваторов на ВВП под ответственное хранение;
- в межнавигационный период зерновые грузы отгружаются в морские суда с выполнением всех необходимых операций по внешнеторговым сделкам;

- перевозка морем из зернового терминала на Каспийском море до портов Ирана осуществляется, как судами РФ, так и иностранных государств;
- в портах Ирана продукция принимается покупателем, перегружается из судов в сухопутные виды транспорта и следует к потребителям.

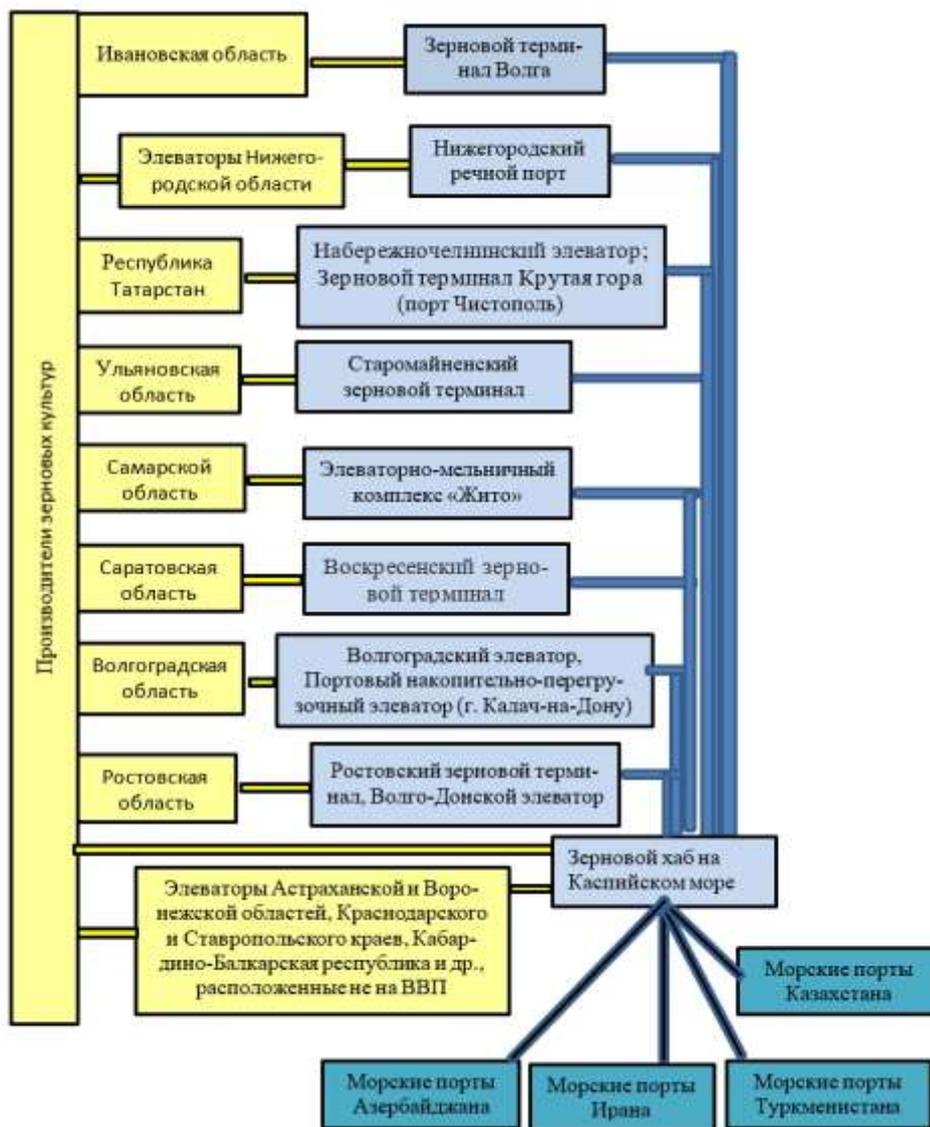


Рис. 9. Модель грузопотоков зерновых культур по ВВП МТК «Север - Юг» с созданием зернового хаба на Каспийском море  
 Обозначения:  – перевозка автомобильным и железнодорожным транспортом;  
 – перевозка речным транспортом;  
 – перевозка морским транспортом  
 (Составлено автором)

**6-й вариант поставок по Транскаспийскому маршруту - речными судами с зерновых терминалов на ВВП через зерновой хаб на Каспийском море (при поставках в межнавигационный период):**

- трейдеры зернового хаба на Каспийском море заключают договора с трейдерами элеваторов на ВВП на поставку зерновых культур в

- навигационный период на объемы, которые будут востребованы на международном рынке;
- трейдеры элеваторов на ВВП закупают зерновые культуры у их производителей (с прилегающих к ВВП территорий Волжско-Камского бассейна) под договора с трейдером зернового хаба;
  - производители зерновых культур доставляют продукцию на элеваторы автомобильным или железнодорожным транспортом;
  - трейдеры элеваторов на ВВП принимают продукцию, накапливают ее и в навигационный период отправляют в речных судах до зерновых терминалов хаба на Каспийском море;
  - речная судоходная компания перевозит груз с элеваторов на ВВП до Каспийского зернового хаба;
  - трейдеры Каспийского зернового хаба выгружают продукцию из речных судов, хранят и в межнавигационный период отгружаются в морские суда с выполнением всех необходимых операций по внешнеторговым сделкам;
  - перевозка морем из зернового хаба на Каспийском море до портов Ирана осуществляется, как судами РФ, так и иностранных государств;
  - в портах Ирана продукция принимается покупателем, перегружается из судов в сухопутные виды транспорта и следует к потребителям.

### **Заключение**

Основные результаты исследования заключаются в следующих выводах.

1. Анализ портовой инфраструктуры в Волжско-Камском бассейне ВВП показал наличия действующих мощностей для отгрузки зерновых культур в суда почти во всех административных территориальных образованиях, расположенных на этих ВВП. Кроме того, существует готовность производителей зерновых культур к расширению объемов их производства (при условии отладки цепей доставки по водным путям) и строительства небольших местных приречных зерновых терминалов.

2. В настоящее время поставки зерновых культур по Транскаспийскому маршруту МТК «Север-Юг» осуществляются по трем вариантам:

- в навигационный период (220 суток) в судах смешанного «река-море» типа с перевозкой с зерновых терминалов Волжско-Камском бассейне ВВП в порт Энзели (Иран);
- с перевозкой с элеваторов Европейской части РФ железнодорожным транспортом в порт Махачкала и далее отправкой морским транспортом в порт Энзели;
- с завозом автотранспортом в морские порты Каспийского моря (Астрахань, Оля, Махачкала) с прилегающих территорий и отправкой в порт Энзели морским транспортом.

Только в одном из них используется относительно дешевый речной транспорт. При этом объемы перевозок по этому маршруту ограничены спросом в навигационный период (межнавигационный период в Волжско-Камском бассейне ВВП составляет в 145 суток).

3. Основная причина слабой вовлеченности ВВП в перевозки по МТК «Север – Юг» является сезонность работы ВВП европейской части страны. Проблема может быть решена через создание зернового хаба в одном из морских портов Каспийского моря, обеспечивающем прием, хранение и отгрузку в межнавигационный период зерновых культур, завозимых на него речными судами в навигационный период. Разработана модель грузопотоков зерновых культур по ВВП МТК «Север - Юг» с созданием зернового хаба на Каспийском море.

Задача создания зернового хаба и его дислокации на Каспийском море будет рассмотрена в следующем номере журнала.

#### Список литературы

1. Смирнов, М. А. Внутренний водный транспорт как потенциальный участник международного транспортного коридора «Север-Юг» / М. А. Смирнов, Ю.Н. Уртминцев // Труды 19-го международного научно-промышленного форума «Великие реки-2018». : Труды международного научно-промышленного форума. Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов, Нижний Новгород, 15-18 мая 2018 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2018. – EDN ZHYAUP.
2. Моисеенко, А. М. Анализ развития международного транспортного коридора "Север - Юг" / А. М. Моисеенко, С. Д. Чулина, А. В. Колов // Управление научно-техническими проектами : Материалы Третьей Международной научно-технической конференции, Москва, 05 апреля 2019 года. – Москва: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана" (Научно-учебный комплекс "Информатика и системы управления" МГТУ им.Н.Э.Баумана), 2019. – С. 283-287. – EDN SPVAEJ
3. Мальцев, А. Г. Роль водного транспорта в развитии международного транспортного коридора Север-Юг / А. Г. Мальцев // StudNet. – 2022. – Т. 5, № 3. – EDN UBRHGA.
4. Нестерова, Н. С. О формировании и развитии мультимодальной транспортной сети / Н. С. Нестерова, В. А. Анисимов, С. М. Гончарук // Проектирование развития региональной сети железных дорог. – 2016. – № 4. – С. 39-48. – EDN XEEXFZ.
5. Вакуленко Р.Я. Интеграция Волжского бассейна в мировое транспортное пространство /Р.Я. Вакуленко, Н.С. Волостнов, В.Н. Костров, О.В. Почекаева // Вестник Екатеринбургского института. 2020. № 4(52). - с. 14-20.
6. Минеев, В. И. Перегрузка международного транспортного коридора «Север - Юг» / В. И. Минеев, Д. А. Почекаев // Научные проблемы водного транспорта. – 2023. – № 74. – С. 105-116. – DOI 10.37890/jwt.vi74.350. – EDN LAVODE.
7. Головенко Д. Е. Обоснование участия речного транспорта России в работе мультимодальных контейнерных маршрутов : На примере коридора «Север – Юг»: Дис. ... канд. техн. наук : 05.22.19 : Н. Новгород, 2001. – 177 с. РГБ ОД, 61:04-5/3139
8. Ермаков С. В. Обоснование использования грузовых терминалов речных портов в международных транспортных коридорах (на примере коридора «Север – Юг») : Дис. ... канд. техн. наук : 05.22.19 : Н. Новгород, 2004. – 150 с. РГБ ОД, 61:04-5/3139
9. Цверов, В.В. Оценка состояния уровня информационной прозрачности речных портов для целей управления цепями поставок / В.В. Цверов, Е.С. Наседкина // Конгресс Международного форума «Великие реки» 2018 г. «Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек». Интернет журнал широкой научной тематики. Выпуск 7, 2018 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://вф-река-море.рф/2018/PDF/98.pdf>
10. Цверов, В. В., Торотенкова, А. И. (2021). Совершенствование процедуры выдачи разрешения на плавание судов под иностранным флагом по внутренним водным путям Российской Федерации. Научные проблемы водного транспорта, № 69, стр., 183-196. <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/article/view/225/169>
11. Торотенкова А.И., Цверов В.В. Аспекты плавания судов под иностранным флагом по внутренним водным путям Российской Федерации // Транспорт: проблемы, цели, перспективы (ТРАНСПОРТ 2021): материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием (Пермь, 12 февраля 2021 г.) /под ред. канд. пед. наук., доц. Е.В. Чабановой – Пермь: Пермский филиал ФГБОУ ПО «ВГУВТ», 2021. – 670-577 с.
12. Гончарова, Н. В. Современные тенденции организации перевозки минеральных удобрений в МТК «Север-Юг» / Н. В. Гончарова // Транспорт. Горизонты развития : Труды 2-го Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 07–09 июня 2022 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2022. – С. 7. – EDN FHBERX.

13. Вахшитех, А.Н. Развитие Иранской экономической зоны «Энзели» в рамках международного транспортного коридора «Север – Юг» / А.Н. Вахшитех, М. В. Лапенко // Восточная аналитика. – 2019. - № 2. – С. 24-34. – EDN ULHAZO.
14. Иванова, Н.С. Исследование организации транспортно-экспедиционного обеспечения международных транспортных коридоров : Дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 : Москва, 2006. – 163 с.

#### References

1. Smirnov M.A., Urtmintsev Y.N. Inner water transport as a potential participant of the international transport corridor "North-South" / M.A. Smirnov, U.N. Urtmintsev // Proceedings of the 19th International Scientific and Industrial Forum "Great Rivers-2018" : Proceedings of the international scientific-industrial forum. Materials of scientific-methodical conference of teaching staff, postgraduates, specialists and students, Nizhny Novgorod, May 15-18, 2018. - Nizhny Novgorod: Volga State University of Water Transport, 2018. - EDN ZHYAYP.
2. Moiseenko A.M., Chulina S.D., Kolov A.V. Analysis of development of international transport corridor "North-South" / A.M. Moiseenko, S.D., Kolov A.V. // Management of scientific and technical projects : Materials of the Third International Scientific and Technical Conference, Moscow, April 05, 2019. - Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Bauman Moscow State Technical University" (Scientific-Educational Complex "Informatics and Control Systems" MSTU named after N.E. Bauman), 2019. - C. 283-287. - EDN SPVAEJ
3. Maltsev A.G. The role of water transport in the development of the international transport corridor North-South / A.G. Maltsev // StudNet. - 2022. - Т. 5, № 3. - EDN UBRHGA.
4. Nesterova, N. S. On the formation and development of multimodal transport network / N. S. Nesterova, V. A. Anisimov, S. M. Goncharuk // Designing the development of the regional railroad network. - 2016. - № 4. - C. 39-48. - EDN XEEXFZ.
5. Vakulenko R.Y. Integration of the Volga Basin in the World Transport Space / R.Y. Vakulenko, N.S. Volostnov, V.N. Kostrov, O.V. Pochekaeva // Vestnik of Ekaterina-Inst. 2020. № 4(52). - c. 14-20.
6. Mineev V.I., Pochekaev D.A. Reloading of the International Transport Corridor "North-South" / V.I. Mineev, D.A. Pochekaev // Scientific problems of water transport. - 2023. - № 74. - C. 105-116. - DOI 10.37890/jwt.vi74.350. - EDN LAVODE.
7. Golovenko D. E. Justification of participation of Russian river transport in multimodal container routes: by the example of the corridor "North-South": doctor. Candidate of Technical Sciences : 05.22.19 : N. Novgorod, 2001. - 177 c. RSB DOC, 61:04-5/3139
8. Ermakov S. V. Justification of the use of cargo terminals of river ports in international transport corridors (on the example of the corridor "North-South") : Dissertation ... D. in Technical Sciences : 05.22.19 : N. Novgorod, 2004. - 150 c. RSB DOC, 61:04-5/3139
9. Tverov V. V. Estimation of information transparency level in river ports for supply chain management purposes / V.V. Tsverov, E.S. Nasedkina // Congress of the International Forum "Great Rivers" 2018. "Problems of use and innovative development of inland waterways in the basins of the great rivers". Internet-journal of wide scientific themes. Issue 7, 2018. [Electronic resource]. - Access mode: <http://вф-река-море.рф/2018/PDF/98.pdf>
10. Tsverov, V. V., Torotenkova, A. I. (2021). Improvement of procedure of issuing permission for navigation of vessels under foreign flags on inland waterways of the Russian Federation. Scientific problems of water transport, No. 69, pp., 183-196. <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/article/view/225/169>
11. Torotenkova A.I., Tsverov V.V. Aspects of navigation of vessels under foreign flags on inland waterways of Russian Federation // Transport: problems, objectives, prospects (TRANSPORT 2021): proceedings of All-Russian Scientific and Technical Conference with International Participation (Perm, February 12, 2021)/ed. by Candid. of Ped. sciences, associate professor E.V. Chabanova - Perm: Perm branch of FSBEU PO "VGUVT", 2021. - 670-577 c.
12. Goncharova N.V. Modern tendencies in organization of mineral fertilizers transportation in ITC "North-South" / N.V. Goncharova // Transport. Development Horizons: Proceedings of 2nd International Scientific and Industrial Forum, Nizhny Novgorod, June 07-09, 2022. -

- Nizhny Novgorod: Volga State University of Water Transport, 2022. - P. 7. - EDN FHBERX.
13. Vakhshiteh, A.N. Development of Iranian Economic Zone "Enzeli" in the framework of the international transport corridor "North-South" / A.N. Vakhshiteh, M.V. Lapenko // *Vostochnaya Analitika*. - 2019. - № 2. - С. 24-34. - EDN ULHAZO.
  14. Ivanova N.S. Investigation of the organization of transport-forwarding support of international transport corridors : dissertation ... D. in Economics: 08.00.05 : Moscow, 2006. - 163 с.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Цверов Владимир Викторович**, доктор экономических наук, кандидат технических наук, доцент кафедры «Логистики и маркетинга», ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», г. Нижний Новгород, Россия, e-mail: v.tsverov@yandex.ru

**Vladimir V. Tsverov**, Doctor of Economics, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, 603951, Nizhny Novgorod, st. Nesterova, 5, e-mail: v.tsverov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 29.05.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 29.05.2023; published online 20.09.2023.

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА,  
СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ СУДОХОДСТВА**

**OPERATION OF WATER TRANSPORT, NAVIGATION AND  
SAFETY OF NAVIGATION**

УДК: 628.511.001.57:656.62.073.28

DOI: 10.37890/jwt.vi76.396

**Экспериментальный метод определения количественных  
характеристик потерь сыпучих грузов при перегрузке  
грейфером**

**Д.Н. Костюничев**

*ORCID: 0000-0002-9365-4825*

**Н.С. Отделкин**

*ORCID: 0000-0002-5448-8940*

**Д.О. Зименков**

*ORCID: 0009-0008-5901-7559*

*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород,  
Россия, 603950, Нижний Новгород, Россия.*

**Аннотация:** Предлагаемый экспериментальный метод определения потерь сыпучих грузов, склонных к пылеобразованию, позволяет по результатам модельных исследований спрогнозировать размер потерь сыпучего груза, при работе грейфером в реальных условиях выполнения грузовых операций. В статье представлено разработанное авторами экспериментальное оборудование, позволяющее получить физические модели процессов зачерпывания груза и разгрузки грейфера, при которых происходит самое интенсивное пылеобразование и максимальный размер потерь перегружаемого груза. Кроме этого, приведены методики применения указанного экспериментального оборудования, которые предусматривают определение количественных характеристик потерь, при использовании в исследованиях натурального сыпучего груза, что допустимо при определенных параметрах моделей. Так же, методиками предусматривается возможность определения влияния скорости ветрового воздействия на величину потерь груза от пыления, поэтому исследования проводились в два этапа - как при отсутствии ветрового воздействия при работе грейфера, так и при его наличии. Интервал значений скоростей ветрового воздействия составлял от 0 до 10 м/с. В результате обработки результатов модельных исследований получены математические модели размеров потерь ряда сыпучих грузов при перегрузке грейфером с учетом ветровых воздействий на груз.

**Ключевые слова:** сыпучий груз, грейфер, работа грейфера, потери, исследования, экспериментальное оборудование, физическая модель, математическая модель, метод.

**Experimental method of determining bulk cargo losses  
quantitative characteristics during grappling overload**

**Denis N. Kostyunichev**

*ORCID: 0000-0002-9365-4825*

**Nicolay S. Otdelkin**

*ORCID: 0000-0002-5448-8940*

**Danila O. Zimenkov<sup>1</sup>**

*ORCID: 0009-0008-5901-7559*

*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract:** The proposed experimental method of determining the losses of bulk cargo prone to dust formation allows, based on model researches results, to predict the bulk cargo losses amount when working with a grab in real conditions of cargo operations. The article presents developed by the authors experimental equipment, which makes it possible to obtain physical models of cargo scooping and unloading the grab processes, during which the most intense dust formation and the maximum losses amount of the reloaded cargo occur. In addition, the methods of using the specified experimental equipment are given, which provide for the determination of losses quantitative characteristics when using full-scale bulk cargo in researches, which is permissible under certain model parameters. Also, the methods provide for the possibility of determining the wind action speed influence on the amount of cargo losses from dusting, therefore, the researches were carried out in two stages - both in the absence of wind action during the grab operation, and in its presence. The range of wind impact velocities ranged from 0 to 10 m/s. As a result of processing modeling researches results, mathematical models of losses amount of a number of bulk cargoes during grappling overload considering wind impact were obtained.

**Keywords:** bulk cargo, grapple, grapple operation, losses, researches, experimental equipment, physical model, mathematical model, method

### Введение

При перегрузке сыпучих грузов грейфером основным источником пыления является работа самого грейфера: посадка на груз; зачерпывание; подъем; перемещение и высыпание груза [1]. Причем вопросам определения потерь, вызванных пылением при работе грейфера с сыпучими грузами, относящимися к категориям пылящих и пылевидных, уделяется крайне мало внимания [2].

Наиболее интенсивное пыление происходит при высыпании груза из грейфера. Это обусловлено кинетической энергией падающего груза, которая при его ударе о преграду (пол вагона или трюм судна, слой груза) тратится главным образом на уменьшение пористости разжиженного воздухом груза и создание потоков воздуха, разносящих пыль [3, 4].

На рис. 1 представлена схема струи падающего сыпучего груза и образование пылевоздушных потоков при разгрузке грейфера.

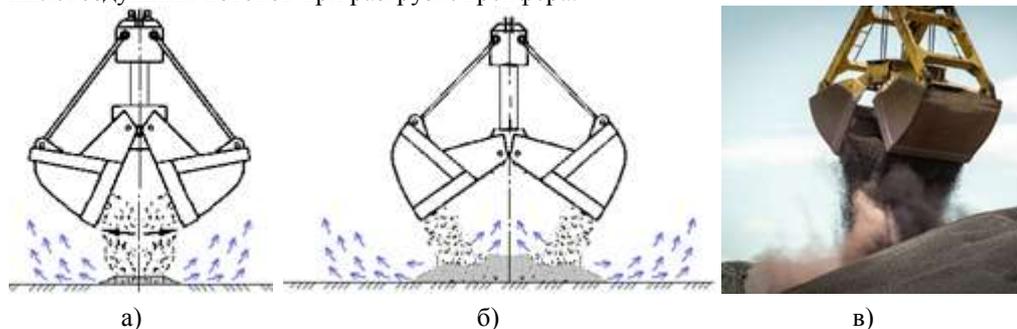


Рис. 1. Схема струи падающего сыпучего груза и образование пылевоздушной смеси при разгрузке грейфера:

а – начало разгрузки; б – окончание разгрузки; в – разгрузка реального грейфера с углем.

В связи с этим экспериментальный метод предназначен для определения потерь сыпучих грузов именно при выполнении операций разгрузки грейфера.

### Методы

Экспериментальный метод определения количественных характеристик потерь при перегрузке сыпучих грузов грейфером включает в себя два этапа исследований:

1 этап – исследование размера потерь груза при разгрузке грейфера без ветрового воздействия на груз. Задача этого этапа исследований заключается в определении массы частиц груза, переходящих во взвешенное состояние;

2 этап – исследование размера потерь груза при разгрузке грейфера с учетом ветрового воздействия на груз. Задача второго этапа – установить характеристики потерь с учетом скоростей ветра, то есть установить долю взвешенных частиц груза, которая уносится ветровыми потоками и безвозвратно теряется.

Исследование размера потерь груза при разгрузке грейфера без ветрового воздействия на груз проводилось на установке, схема которой представлена на рис.2, а фото – на рис. 3.

Данная установка состоит из фундамента 3, нижняя часть которого служит для приема груза и выполнена в виде наклонных стенок и горизонтально расположенного днища. В верхней части фундамента с двух противоположных сторон имеются направляющие 5 для двух горизонтально перемещающихся створок 4. На верхнюю часть фундамента 3, имеющего прямоугольное сечение, опирается своим большим основанием пирамидальный корпус 1, что исключает возможность оседания частиц груза на стенках корпуса. Одна из четырех наклонных стенок выполнена прозрачной для удобства наблюдений. В верхней части пирамидального корпуса 1 устанавливается съемная крышка 2, которая снабжена отверстиями для прохождения грейферных канатов. Пирамидальный корпус 1 и крышка 2 служат для изоляции от внешнего пространства грейфера 6 с сыпучим грузом. Необходимо отметить, что размеры пирамидального корпуса 1 установлены таким образом, чтобы его вместимость не оказывала влияния на взвешивание частиц груза при разгрузке грейфера.

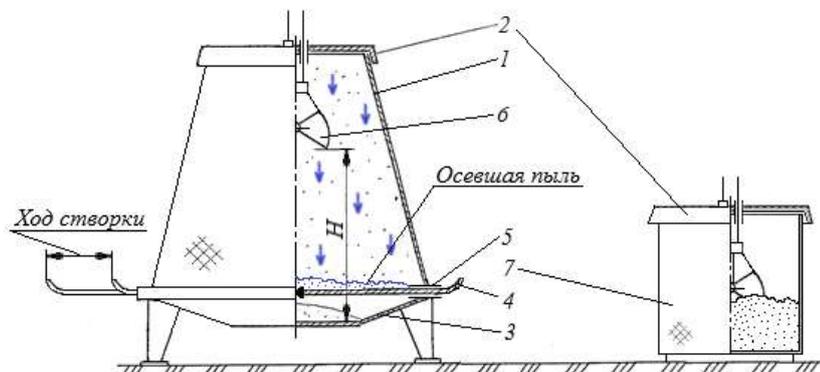


Рис. 2. Схема установки для исследования размера потерь груза при разгрузке грейфера:  
1 – пирамидальный корпус; 2 – крышка; 3 – фундамент; 4 – направляющие; 5 – створки;  
6 – грейфер; 7 – ящик с грузом.

Кроме этого, в комплект установки входит ящик 7, в котором размещается исследуемый сыпучий груз. При этом размеры и сечение верхней части ящика 7 и верхней части пирамидального корпуса 1 имеют одинаковые значения. Это позволяет использовать съемную крышку 2 и для пирамидального корпуса 1, и для ящика 7. Одна стенка ящика 7 выполнена так же прозрачной для удобства наблюдений.



Рис. 3. Установка для исследования размера потерь груза при разгрузке грейфера.

Методически данные исследования опираются на возможность их проведения на моделях с использованием натурального сыпучего груза [5].

В качестве исследуемых грузов использовались уголь марки АШ, апатит, комовая сера и песок. Эксплуатационные характеристики данных сыпучих грузов приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Эксплуатационные характеристики сыпучих грузов для модельных исследований**

Сыпучий груза	Насыпная плотность, т/м <sup>3</sup>	Средний размер частиц, мм	Влажность, %	Масса <i>m</i> груза в модельном грейфере, кг
УГОЛЬ	0,7	0,007	6,4	2,24
Апатит	1,6	0,061	0,9	5,12
Комовая сера	1,2	0,100	0,5	3,84
Песок	1,5	0,750	1,6	4,80

Сначала для модели грейфера устанавливается значение масштабного коэффициента, величина которого позволяет использовать в исследованиях натуральный сыпучий груз, то есть величина масштабного коэффициента должна быть равна и не превышать 10. В настоящих исследованиях использовалась модель грейфера, выполненная в масштабе 1:10. Вместимость реального грейфера к крану грузоподъемностью 10 т составляет 3,2 м<sup>3</sup>, а модельного грейфера - 0,0032 м<sup>3</sup>. С учетом этого для модельных исследований были определены значения технологических операций, оказывающих влияние на потери груза при работе грейфера (см. табл. 1 и табл. 2).

Алгоритм проведения исследований был принят следующий. В ящик 7 помещался один из трех исследуемых грузов с минимальной влажностью. Затем крышка 2 с пропущенными через ее отверстия грейферными канатами вместе с грейфером устанавливалась на ящик 2. Модель раскрытого грейфера опускалась на груз, после чего осуществлялось зачерпывание груза при продолжительности смыкания челюстей 9 секунд. Наблюдение за процессом зачерпывания груза осуществлялось через прозрачную стенку ящика 7. Затем на электронных весах производилось контрольное взвешивание груженого грейфера, чтобы убедиться в выполнении условия

$$G_{Г} - G_{П} = m ,$$

где  $G_r$  и  $G_n$  – масса, соответственно, груженого и порожнего модельного грейфера, кг;  
 $m$  – масса груза в модельном грейфере, кг.

Таблица 2

**Значения технологических параметров, оказывающих влияние на потери груза при работе грейфера, принятые для модельных исследований**

Наименование параметра	Значение параметра
Масса $m$ груза в модельном грейфере, кг	см. табл. 1
Время смыкания челюстей при зачерпывании груза грейфером, с	9,0
Время разгрузки грейфера, с	3,0
Высота $H$ раскрытия грейфера, м	0,1

После этого съемная крышка 2 с груженым грейфером устанавливалась на пирамидальный корпус 1, при этом створки 5 должны находиться в открытом положении. Грейфер 6 с грузом устанавливался над горизонтально расположенным днищем фундамента 3 на высоте 0,1 м и в течение 3 секунд выполнялась разгрузка грейфера. Сразу после завершения процесса падения груза и удара струи груза о жесткое днище фундамента 3 створки мгновенно закрывались, отсекая взвешенную пыль и изолируя ее в пирамидальном корпусе 1. После трехчасовой выдержки (время выдержки устанавливалось с учетом скоростей оседания частиц груза), осевшая на створках 5 пыль собиралась и взвешивалась на аналитических весах ВЛА-200 М. Для каждого вида сыпучего груза с определенной влажностью проводилось по две серии исследований: одна серия – при разгрузке грейфера груз падал на жесткое основание; другая серия – груз падал на слой груза. Каждая серия исследований состояла из семи опытов.

**Результаты**

Результаты исследований размера потерь груза при разгрузке грейфера без ветрового воздействия на груз приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты исследований размера потерь груза при разгрузке грейфера без ветрового воздействия на груз**

Сыпучий груз	Значения потерь при модельных исследованиях, г/цикл (%)		
	падение груза		средние значения
	на жесткое основание	на слой груза	
Уголь	11 (0,49)	13 (0,58)	12 (0,53)
Апатит	35 (0,68)	39 (0,76)	37 (0,72)
Комовая сера	23 (0,60)	27 (0,70)	25 (0,65)
Песок	13 (0,27)	13 (0,27)	13 (0,27)

Исследования размера потерь груза при разгрузке грейфера с учетом ветрового воздействия на груз проводились также на установке, представленной на рис. 2. Только в этом случае демонтировались прозрачная стенка и противоположная ей

стенка пирамидального корпуса 1. Для создания ветрового воздействия на груз использовалось оборудование, представленное на рис. 4.



Рис. 4. Оборудование для создания ветрового воздействия на груз при модельных исследованиях размера потерь груза:

- 1 – воздуходувка СКМ-АС2; 2 – блок управления воздуходувкой; 3 – анемометр АСЦ-3;
- 4 – крыльчатка анемометра.

Схема установки с двумя снятыми противоположными стенками и расположение оборудования для создания ветрового воздействия на груз приведено на рис. 5.

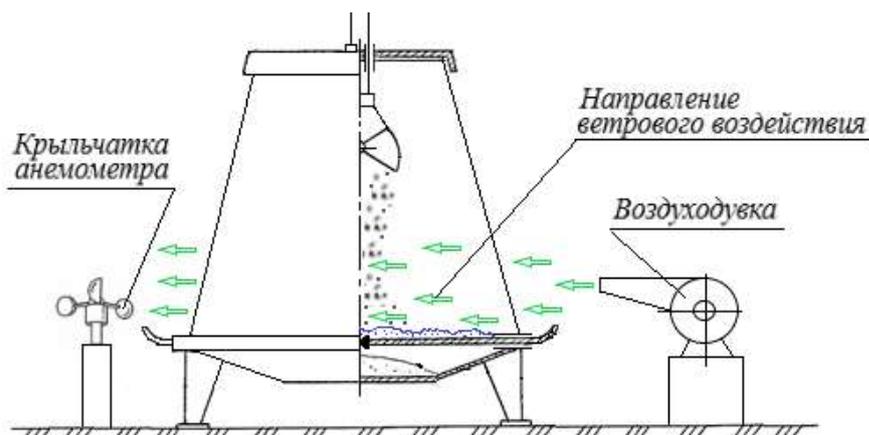


Рис. 5. Схема установки с двумя снятыми противоположными стенками и расположение оборудования для создания ветрового воздействия.

Исследования размера потерь груза при разгрузке грейфера с учетом ветрового воздействия на груз проводились по следующей методике. Процессы зачерпывания сыпучего груза и разгрузки модельного грейфера осуществлялись так же, как и в первом этапе исследований. В начальный момент раскрытия грейфера включалась в работу воздуходувка, создавая воздушный поток с определенной скоростью, которая контролировалась анемометром. После двухминутной работы воздуходувка отключалась. Оставшаяся на створках 5 пыль собиралась и взвешивалась на аналитических весах ВЛА-200М. Размер потерь груза определялся как разница между максимально возможными потерями, определенными на первом этапе исследований, и массой пыли, оставшейся на створках после воздействия ветрового потока с определенной скоростью. Для каждого вида сыпучего груза проводилось по четыре

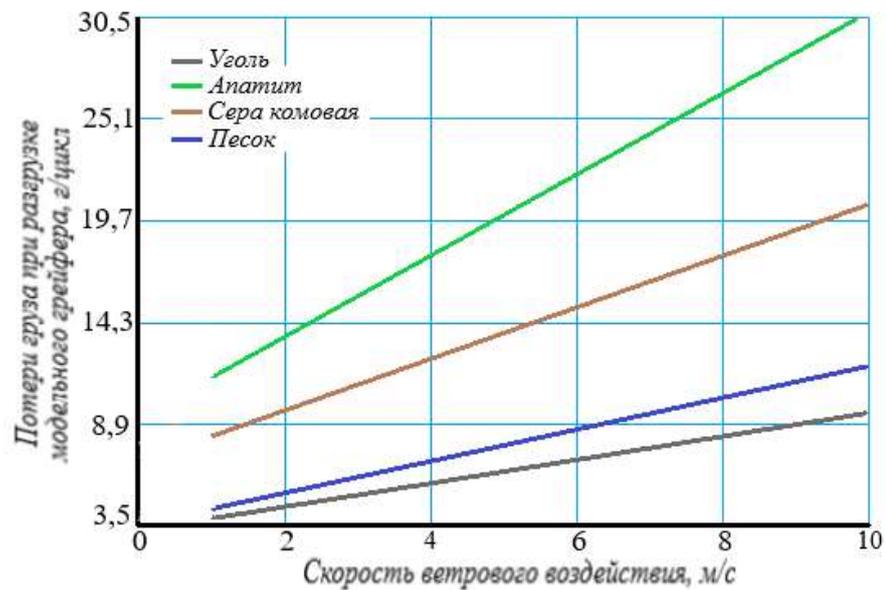
серии исследований при скорости ветрового воздействия 1, 4, 7 и 10 м/с. Каждая серия исследований состояла из семи опытов.

Результаты исследований размера потерь груза при разгрузке грейфера с учетом ветрового воздействия на груз представлены в табл. 4 и на рис. 6.

*Таблица 4*

**Результаты исследований размера потерь груза при разгрузке грейфера с учетом ветрового воздействия на груз**

Сыпучий груз	Средние значения размера потерь груза при разгрузке модельного грейфера с учетом ветрового воздействия $u$ на груз, г/цикл			
	1 м/с	4 м/с	7 м/с	10 м/с
Уголь	3,65	5,73	7,82	9,90
Апатит	11,26	17,74	24,16	30,62
Комовая сера	7,59	11,86	16,29	20,49
Песок	4,29	6,76	9,24	11,71



*Рис. 6.* Зависимость размера потерь груза при разгрузке грейфера от скорости ветрового воздействия на груз.

После обработки результатов исследования с помощью графического метода, изложенного в [6, 7], эти результаты можно представить в виде математических моделей, которые приведены в табл. 5. Так же в табл. 5 представлены прогнозируемые значения потерь при работе натурального грейфера, определенные с помощью формул перехода от модели к натуре для скоростей ветровых потоков 1 и 10 м/с [5, 8].

Таблица 5

**Математические модели размеров потерь сыпучих грузов при перегрузке грейфером с учетом ветровых воздействий на груз**

Сыпучий груз	Математическая модель размеров потерь П при модельных исследованиях, мг/цикл	Прогнозируемые значения потерь при работе натурного грейфера для значений ветрового воздействия $v$ , кг/цикл	
		1 м/с	10 м/с
Уголь	$P = 2,95 + 0,69 \cdot v$	3,64	9,90
Апатит	$P = 9,11 + 2,15 \cdot v$	11,26	30,61
Комовая сера	$P = 6,16 + 1,43 \cdot v$	7,59	20,46
Песок	$P = 3,47 + 0,82 \cdot v$	4,29	11,67

**Заключение**

Таким образом, предлагаемый экспериментальный метод определения количественных характеристик потерь сыпучих грузов при перегрузке грейфером позволяет:

- в лабораторных условиях при минимальных материальных затратах проводить исследования по определению размера потерь сыпучих грузов, склонных пылеобразованию;
- разрабатывать математические модели, учитывающие влияние на потери скорости ветровых воздействий на груз;
- прогнозировать величину потерь сыпучих грузов при работе грейфера и обосновывать нормы естественной убыли грузов для реальных условий перегрузки.

С использованием данного экспериментального метода получены математические модели и прогнозные оценки потерь для склонных к пылеобразованию угля, апатита, комовой серы и песка при их перегрузке грейфером.

**Список литературы**

1. Аксенов, И. Я. Транспорт и охрана окружающей среды / И. Я. Аксенов, В. И. Аксенов. – М.: Транспорт, 1986. – 175 с.
2. Баловнев, В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов строительно-дорожных машин / В. И. Баловнев. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.
3. Семенов А.М. Фильтрация воздуха при ударе струи сыпучего материала о плоскость / А.М. Семенов, А.Ф. Константинов // Проблемы технологии, механизации и автоматизации перегрузочных работ на морском транспорте. – Л.: Ленморниипроект. 1984. – С. 12 - 15.
4. Бобровников, Н. А. Защита окружающей среды от пыли на транспорте / Н. А. Бобровников. – М.: Транспорт, 1984. – 72 с.
5. Отделкин, Н. С. Прогнозирование пылеобразования при перегрузке пылящих материалов грейферными кранами на основе подобия и моделирования / Н. С. Отделкин, М. С. Отделкин // Научные труды // Горьков. ин-т инж. водн. трансп. – 1999. – вып. 283. – часть 4. – С. 108 - 116.
6. Калоша, В.К. Математическая обработка результатов эксперимента. / В.К. Калоша, С.И. Лобко, Т.С. Чикова. – Минск: Высшая школа, 1982. – 103 с.
7. Круг, Г. К. Статистические методы в инженерных исследованиях / Г. К. Круг [и др.]. – М.: Высшая школа, 1983 – 216 с.
8. Отделкин, Н. С. К вопросу определения потерь пылящих грузов от распыления и пылеуноса / Н. С. Отделкин, Д. Н. Костюничев. – Материалы 1-ой Всероссийской научно-практической конференции «Морские и речные порты». – Москва, 2002, С. 12 - 14.

### References

1. Aksenov, I. YA. Transport i okhrana okruzhayushchei sredy [Transport and environmental protection] / I. YA. Aksenov, V. I. Aksenov. – M.: Transport Publ., 1986. – 175 p.
2. Balovnev, V. I. Modelirovanie protsessov vzaimodeistviya so sredoi rabochikh organov stroitel'no-dorozhnykh mashin [Modeling the processes of interaction with the environment of the working bodies of road-building machines] / V. I. Balovnev. – M.: Vysshaya shkola Publ., 1981. – 335 p.
3. Semenov A.M. Air filtration during impact of bulk material jet on the plane [Air filtration upon impact of a jet of bulk material on a plane] / A.M. Semenov, A.F. Konstantinov // Problems of technology, mechanization and automation of transshipment operations on sea transport. - L.: Lenmornii-proekt Publ. 1984. – pp. 12 - 15.
4. Bobrovnikov, N. A. Zashchita okruzhayushchei sredy ot pyli na transporte [Protecting the environment from dust in transport] / N. A. Bobrovnikov. – M.: Transport Publ., 1984. – 72 p.
5. Otdelkin, N. S. Prognozirovaniye pyleobrazovaniya pri peregruzke pylyashchikh materialov greifernymi kranami na osnove podobiya i modelirovaniya [Prediction of dust formation during handling of dusty materials by grab cranes based on similarity and modeling] / N. S. Otdelkin, M. S. Otdelkin // Nauchnye trudy [Scientific works]// Gor'kov. in-t inzh. vodn. transp. Publ. – 1999. – no. 283. – part 4. – pp. 108 -116.
6. Kalosha, V.K. Mathematical processing of experimental results [Mathematical processing of experimental results] / V.K. Kalosha, S.I. Lobko, T.S. Chikova. - Minsk: Higher School Publ., 1982. - 103 p.
7. Krug, G. K. Statisticheskie metody v inzhenernykh issledovaniyakh [Statistical Methods in Engineering Research] / G. K. Krug [i dr.]. – M.: Vysshaya shkola Publ., pp. 1983 - 216.
8. Otdelkin, N. S. K voprosu opredeleniya poter' pylyashchikh gruzov ot raspyleniya i pyleunosa [On the issue of determining the loss of dusty cargo from spraying and dust entrainment] / N. S. Otdelkin, D. N. Kostyunichev. - Materialy 1-oi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Morskie i rechnye portY». – Moskva, 2002, pp. 12 – 14.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Костюничев Денис Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры подъёмно-транспортных машин и машиноремонта, проректор по среднему профессиональному образованию – начальник НРУ им. И.П. Кулибина, Волжский государственный университет водного транспорта», 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: kostyunichev.dn@vsuwt.ru

**Отделкин Николай Станиславович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теории конструирования инженерных сооружений, Волжский государственный университет водного транспорта», 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: otdelkin.ns@vsuwt.ru

**Зименков Данила Олегович**, аспирант, Волжский государственный университет водного транспорта», 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: danila\_zimenkov@mail.ru

**Denis N. Kostyunichev**, candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Hoisting and Transport Machinery and Machine Repair, Vice-Rector for Secondary Vocational Education, Head of N.R.S. named after I.P. Kulibin Volga State University of Water Transport 5, Nesterov street, Nizhny Novgorod, 603950

**Nikolay S. Otdelkin**, doctor of technical sciences, professor, the head of the chair of Theory of Construction of Engineering Structures, Volga State University of Water Transport 5, Nesterov street, Nizhny Novgorod, 603950

**Danila O. Zimenkov**, postgraduate student, Volga State University of Water Transport 5, Nesterov street, Nizhny Novgorod, 603950, e-mail: danila\_zimenkov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 06.06.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 06.06.2023; published online 20.09.2023

УДК 659.62

DOI: 10.37890/jwt.vi76.390

## **Ледовый паспорт речного ледокола: ходкость**

**В.А. Лобанов**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0931-7317>

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

**Аннотация.** Работа начинает серию публикаций по обобщению опыта многолетней ледовой эксплуатации речных мелкосидящих ледоколов проекта 1191. Настоящая статья посвящена анализу натурных данных по ледовой ходкости судна.

В табличной форме приводятся скоростные характеристики ледокола на переднем, заднем ходу и при работе набегами в зависимости от различных условий и режимов эксплуатации в сплошных льдах и ледовом канале: толщины ледяного покрова; степени его раздробленности, разрушенности, сплочённости; высоты, плотности и влажности снежного покрова; глубины акватории; суммарной мощности гребных электродвигателей.

Показан порядок использования табличных данных для оценки эксплуатационной ходкости судна во льдах.

**Ключевые слова:** ледяной покров, ледокол, ледовые качества, ледовая ходкость.

## **Ice passport of a river icebreaker: propulsion ability**

**Vasily A. Lobanov**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0931-7317>

*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** The work begins a series of publications summarizing the experience of long-term ice operation of shallow-seated river icebreakers of project 1191. This article is devoted to the analysis of full-scale data on the ice propulsion ability of the vessel.

In tabular form, the speed characteristics of the icebreaker on the advancing, stern board and ramming icebreaking are given depending on various conditions and operating modes in solid ice and ice channel: thickness of the ice cover; the degree of its fragmentation, extent of destruction, concentration; height, density and humidity of the snow cover; depth of the water area; total power of thrusting electric motors.

The procedure for using tabular data to evaluate the operational propulsion ability of a vessel in ices is shown in the article.

**Keywords:** ice cover, icebreaker, ice performances, ice propulsion ability

### **Введение**

31 марта сего года исполнилось сорок лет со дня ввода в эксплуатацию головного ледокола проекта 1191 – «Капитан Евдокимов» [1]. «Перестроечный» период, сопровождавшийся экономической деградацией России, позволил «осилить» лишь восемь судов данного проекта, построенных к середине мая 1986 года, что завершило серийное производство ледокольного флота для внутренних водных путей (ВВП) страны. В дальнейшем для нужд ВВП были реализованы только единичные проекты, последний из которых – «Невская застава» (проект 2805 [2]), относится к 2010 году постройки.

Несмотря на «преклонный» возраст, все ледоколы проекта 1191 продолжают эксплуатироваться под эгидой «Росморпорта» в прибрежных морских районах и низовьях рек Российской Федерации (нижний Дон, Азовское море; нижняя Волга,

ВКВП, Каспий; Енисей, Карское море; Северная Двина, Белое море; Лена, море Лаптевых). Однако выработанный ресурс этих судов (а тем более, их предшественников – ледоколов проекта 1105 типа «Капитан Чечкин» [3] и прочих речных ледокольных средств) с очевидностью обострил проблему обеспечения ледовых транспортных операций на ВВП России.

В настоящее время с учётом сложившихся геоэкономических противоречий и санкционного «беспредела» в отношении нашей страны стали проявляться обнадеживающие попытки «приступить к решению» этой проблемы при государственной поддержке на базе отечественной судостроительной отрасли [4-6]. Следует отметить, что заинтересованность исполнителей в реализации государственных заказов несёт для воднотранспортной отрасли риски некомпетентных решений, обусловленных полной «утратой преемственности» за упущенные десятилетия в области речного ледоколостроения. Поэтому ответственные проектанты (в первую очередь, именно они) пытаются собрать базу натуральных данных по ледовым качествам эксплуатируемого ледокольного флота ВВП с целью её критического анализа и разработки перспективных проектов судов с учётом накопленного опыта. При этом важен как опыт эксплуатантов ледокольных средств, так и «имевших место быть» научных коллективов, внёсших свой вклад в дело «продления навигации на ВВП».

Автор входит в состав группы экспертов ФГБОУ ВО «ВГУВТ» по оценкам ледовых качеств флота внутреннего и смешанного река-море плавания и разработке нормативно-рекомендательных документов по безопасности ледового судоходства [7]. Одним из таковых документов является Ледовый паспорт ледокола проекта 1191, существующий в виде рукописи, предназначенной «для служебного пользования» [8]. Срок действия этого грифа истёк, поэтому поэтапное издание этого документа допустимо. В данной статье публикуются натурные данные испытаний ледовой ходкости – основного ледового качества ледокола [9-12].

### Технические характеристики

Основные технические характеристики судна, влияющие на его ледовую ходкость, приведены в табл. 1.

*Таблица 1*

**Технические характеристики ледокола проекта 1191**

<b>Параметр</b>	<b>Величина (характеристика)</b>
Тип и назначение судна	Дизель-электроход, ледокол и аварийно-спасательное судно для эксплуатации на ВВП и в разрешённых в соответствии с классом прибрежных морских районах
Архитектура корпуса	Ложкообразная носовая оконечность без явно выраженной линии штевня, плоскодонная цилиндрическая вставка с наклонными бортами, кормовая оконечность без явно выраженной линии штевня с подзором для движителей
Расчётная длина, м	73,0
Расчётная ширина, м	16,0
Расчётная осадка, м	2,5
Расчётное водоизмещение, т	2200,0
Расчётный коэффициент общей полноты	0,75
Коэффициент полноты ватерлинии	0,91
Коэффициент полноты миделя	0,97
Длина цилиндрической вставки, % расчётной длины	41,0
Угол наклона форштевня к горизонту,	17,0

<b>Параметр</b>	<b>Величина (характеристика)</b>
градус	
Угол наклона борта на миделе к вертикали, градус	12,0
Угол входа носовой ветви конструктивной ватерлинии в ДП, градус	90,0
Гребной электродвигатель (ГЭД), тип	Стрёмберг 100/714
Мощность ГЭД, кВт	950,0
Количество ГЭД	4
Частота вращения ГЭД при полной мощности (950,0 кВт), об/мин	230-420
Частота вращения ГЭД при максимальном моменте на валу (80,0 кН·м), об/мин	0-100
Тип движителя	Открытый гребной винт
Количество движителей	4
Диаметр винта, м	2,0
Шаг винта, м	1,48
Дисковое отношение винта	0,7
Количество лопастей винта	4
Упор винтов на швартовах переднего хода, кН	410,0
Упор винтов на швартовах заднего хода, кН	330,0
Тип рулевого устройства	Полубалансирные рули
Количество рулей	2
*Расчётная ледопроходимость, м	0,7
Тип вспомогательной системы для улучшения ледопроходимости	Пневмоомывающая система (ПОУ)
Скорость полного хода на чистой воде, км/ч	27,0

\*Ледопроходимость – предельная толщина ровного зимнего бесснежного льда, ещё преодолеваемого ледоколом непрерывным ходом со скоростью 2 км/ч при использовании главной энергетической установки на полную мощность.

### **Ходкость непрерывного движения**

Справочные материалы по данному качеству ледокола приведены в табл. 2-11.

Таблица 2

#### **Ходкость в сплошном ровном зимнем льду на переднем ходу**

Глубина акватории, м	Скорость движения, км/ч при толщине льда, м										
	0,0 (вода)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Суммарная мощность ГЭД – 1250 кВт (один главный дизель-генератор)											
4	19,1	12,5	7,6	4,7	2,8	1,7	1,0				
6	20,0	12,6	7,7	4,8	2,9	1,8	1,1				
8	20,3	12,8	7,9	4,9	3,0	1,9	1,2				
10	20,4	12,9	8,0	5,0	3,1	2,0	1,2				
15	20,5	13,1	8,4	5,4	3,4	2,2	1,4				
Суммарная мощность ГЭД – 2500 кВт (два главных дизель-генератора)											
4	21,3	15,5	10,5	7,1	4,8	3,2	2,2	1,5	1,0		
6	23,0	15,7	10,7	7,3	5,0	3,4	2,3	1,6	1,1		

Глубина акватории, м	Скорость движения, км/ч при толщине льда, м										
	0,0 (вода)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
8	23,5	15,8	10,9	7,5	5,1	3,5	2,4	1,7	1,1		
10	23,8	15,9	11,0	7,7	5,3	3,7	2,6	1,8	1,2		
15	24,1	16,3	11,5	8,1	5,8	4,1	2,9	2,0	1,4		
Суммарная мощность ГЭД – 3800 кВт (три главных дизель-генератора)											
4	22,0	19,4	14,7	11,1	8,4	6,4	4,8	3,6	2,8	2,1	1,5
6	24,5	19,6	15,0	11,4	8,7	6,6	5,1	3,9	3,0	2,3	1,7
8	25,4	19,8	15,2	11,7	9,0	6,9	5,3	4,1	3,1	2,4	1,9
10	25,8	20,0	15,4	11,9	9,1	7,1	5,5	4,2	3,3	2,5	2,0
15	26,2	20,3	16,0	12,6	10,0	7,9	6,2	4,9	3,8	3,0	2,4

Таблица 3

**Влияние разрушенности льда на ходкость**

**Разрушенность льда, балл	Масштабный коэффициент при толщине льда, м									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	1,014	1,026	1,039	1,053	1,066	1,079	1,092	1,107	1,121	1,136
2	1,027	1,052	1,080	1,108	1,137	1,165	1,196	1,227	1,258	1,292
3	1,053	1,108	1,166	1,227	1,292	1,359	1,431	1,506	1,584	1,669

\*\*Разрушенность – качественная оценка потери прочности ледяного покрова в процессе таяния. Оценивается по шестибальной шкале: 0 – неразрушенный зимний лёд (без признаков таяния); 5 – весенний лёд на последней стадии таяния (при контакте рассыпается на отдельные «иглы»).

Таблица 4

**Влияние заснеженности льда на ходкость**

Высота снега, м	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
Масштабный коэффициент	0,94	0,89	0,80	0,66	0,54

Таблица 5

**\*\*\*Влияние влажности снега на ходкость**

Разрушенность льда, балл	Масштабный коэффициент при высоте снега, м			
	0,05	0,1	0,2	0,3
1	1,001	1,005	1,035	1,065
2	1,005	1,010	1,070	1,134
3	1,012	1,020	1,148	1,291

\*\*\*Входным параметром для учёта влияния влажности снега является разрушенность льда, так как эти характеристики находятся в жёсткой корреляции.

Таблица 6

**Влияние плотности снега на ходкость**

Плотность снега, т/м <sup>3</sup>	До 0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4
Качественная характеристика снежного покрова	Свежевыпавший рыхлый	Свежевыпавший крупинчатый или уплотнённый ветром	Старый уплотнённый атмосферным воздействием	Прочный наст, ****«снежный лёд», фирн
Масштабный коэффициент	0,976	0,952	0,928	0,906

\*\*\*\*Снежный лёд, фирн – плотная среда, состоящая из ледяных комочков и зёрен, переходная стадия между снегом и льдом.

Таблица 7

**Ходкость в сплошном ровном зимнем льду на заднем ходу при номинальной мощности ГЭД**

****Высота снега, м	Скорость движения, км/ч при толщине льда, м				
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
0,0	14,2	11,0	7,8	4,6	1,4
0,1	14,0	10,7	7,5	4,2	
0,2	13,9	10,5	7,1	3,8	
0,3	13,7	10,2	6,8	3,3	
0,4	13,5	9,9	6,5	2,9	

\*\*\*\*Зимний снег плотностью 0,20-0,25 т/м<sup>3</sup>

Таблица 8

**Влияние разрушенности льда на ходкость задним ходом**

Разрушенность льда, балл	Поправка к скорости движения (табл. 7), км/ч при толщине льда, м				
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
1	0,4	0,6	0,8	1,0	1,3
2	0,8	1,2	1,7	2,1	2,5
3	1,3	1,9	2,5	3,2	3,8

Таблица 9

**\*\*\*\*\*Ходкость в собственном ледовом канале**

Суммарная мощность ГЭД, кВт	Скорость движения, км/ч при толщине льда, м								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1250	19,3	17,5	15,7	14,0	12,2	10,4	8,6	6,8	5,1
2500	23,5	21,7	20,0	18,2	16,4	14,6	12,8	11,1	9,3
3800	25,7	23,9	22,2	20,4	18,6	16,8	14,7	13,2	11,5

\*\*\*\*\*Собственный ледовый канал характеризуется мелкобитыми и тёртыми льдами (раздробленность) сплочённостью 10 баллов.

Таблица 10

**Влияние глубины акватории на ходкость в собственном ледовом канале при номинальной мощности ГЭД**

Глубина акватории, м	Поправка к скорости движения (табл. 9), км/ч при толщине льда, м						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
4	-10,9	-10,5	-9,5	-8,5	-7,1	-5,3	-3,1
6	-5,9	-5,5	-5,0	-4,2	-3,3	-2,1	-0,7
8	-4,0	-3,8	-3,4	-2,8	-2,1	-1,2	-0,1
10	-3,1	-2,9	-2,6	-2,1	-1,5	-0,8	0,0
15	-1,9	-1,8	-1,6	-1,3	-0,9	-0,4	0,0

Таблица 11

**\*\*\*\*\*Ходкость при расширении ледового канала при номинальной мощности ГЭД**

Высота снега, м	Скорость движения, км/ч при толщине льда, м							
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
0,1	24,5	22,1	19,7	17,2	14,8	12,3	9,9	7,4
0,2	24,2	21,3	18,4	15,5	12,7	9,8	7,0	
0,3	23,9	20,5	17,2	13,9	10,6	8,2		
0,4	23,2	19,3	15,2	11,8	8,5			

\*\*\*\*\*Расширение канала – параллельная прокладка нового канала на расстоянии до одной длины корпуса ледокола.

Оценка ходкости ледокола при непрерывном движении в конкретных ледовых условиях выполняется следующим образом: по табл. 2 (передний ход в сплошном льду), табл. 7 (задний ход), табл. 9 (ледовый канал), табл. 11 (расширение канала) определяется скорость движения ледокола при заданных входных параметрах.

По табл. 3-6 выбираются масштабные коэффициенты, учитывающие корректирующее влияние разрушенности льда (табл. 3), высоты, влажности и плотности снега (табл. 4-6, соответственно) на скорость движения судна передним ходом в сплошном льду. Эти коэффициенты перемножаются между собой и ранее полученным значением скорости по табл. 2.

По табл. 8 (задний ход), табл. 10 (ледовый канал) определяются поправки к ранее полученным скоростям движения, которые складываются со своими знаками; промежуточные значения скоростей движения и поправок к ним определяются методом интерполяции.

**Ходкость при работе набегам**

Работа ледокола набегам носит циклический характер и включает следующие операции: отход назад от кромки льда; разбег в канале; продвижение в сплошном льду; реверс ГЭД и освобождение от заклинивания для последующего отхода назад. Средняя скорость продвижения ледокола при работе набегам определяется как частное от деления пути продвижения ледокола в сплошном льду на время цикла.

Характеристики работы набегам, зафиксированные по результатам официальных натурных испытаний первых ледоколов серии, приведены в табл. 12. Обширные данные по набеговой ходкости, полученные в периоды регулярного научно-оперативного обеспечения ледовых транспортных операций в эксплуатационных условиях различных бассейнов, обобщены на рис.

Таблица 12

Характеристики работы набегами

Разбег		Продвижение во льду		Время освобождения от заклинивания, с	Время цикла, с	Скорость, км/ч	Работа ПОУ
Путь, м	Время, с	Путь, м	Время, с				
Заторошенный лёд толщиной 1,3 м при высоте снега до 0,7 м							
240	116	46	25	546	895	0,18	да
210	63	46	19	724	948	0,17	
205	60	37	19	1155	1349	0,10	да
186	30	38	19	859	914	0,15	
155	50	35	18	632	770	0,16	да
155	56	50	17	976	1124	0,16	да
140	49	38	15	721	857	0,16	
124	70	26	16	541	688	0,14	
120	36	30	18	935	1064	0,10	
100	46	40	17	680	815	0,17	да
Заторошенный лёд толщиной 1,8 м при высоте снега до 0,6 м							
188	43	39	15	777	885	0,16	
143	42	40	16	2002	2130	0,07	да
142	46	31	13	2881	3022	0,04	
131	44	35	13	1634	1694	0,07	да
129	44	62	21	1293	1418	0,16	
127	50	50	31	388	554	0,33	
104	59	35	16	918	1060	0,12	
109	38	25	14	814	916	0,10	
100	50	36	17	540	682	0,19	
95	43	33	15	760	878	0,14	
95	38	37	15	806	930	0,14	
84	36	44	19	520	636	0,25	
79	35	30	16	662	770	0,14	
78	35	42	19	468	582	0,26	
74	43	42	19	375	492	0,31	
66	32	32	17	751	846	0,14	
68	30	33	19	1121	1240	0,10	да
32	32	16	15	396	460	0,12	
Заторошенный лёд толщиной 1,5 м при высоте талого снега до 0,1-0,3 м							
177	70	27	13	21	276	0,35	
170	72	31	14	18	252	0,44	
150	66	39	17	24	216	0,65	
150	64	46	21	23	216	0,77	
123	42	60	23	28	210	1,03	
110	39	62	31	22	224	1,00	
93	43	69	29	20	192	1,29	

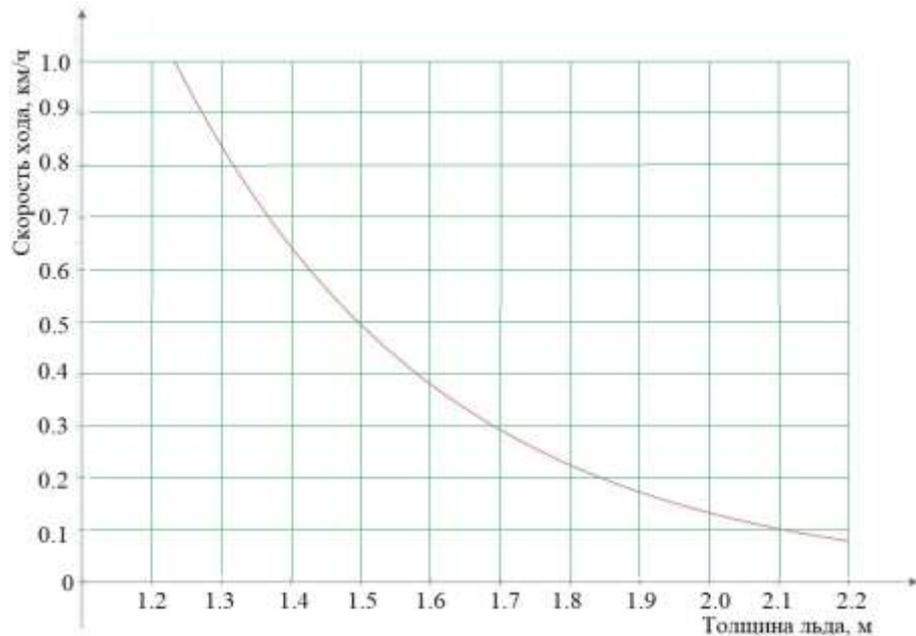


Рис. Ходкость ледокола при работе набегами

Для уменьшения вероятности заклиниваний, которые происходят чаще всего при работе ледоколов набегами при подвижках и слабых сжатиях льдов (1-2 балла), в заторах и торосистых льдах толщиной свыше 1,2-1,5 м, покрытых слоем сухого снега, следует включить в работу дифферентную системы и ПОУ, производить заблаговременный, до остановок судна, реверс ГЭД, применять работу в два следа («ёлкой»), поочередно «закалываясь» в противоположные кромки канала.

Если при работе набегами заклиниваний корпуса не происходит, что обычно наблюдается при движении в ровном сплошном малозаснеженном льду, необходимо выбрать оптимальную длину разбега, для обеспечения наибольшей скорости ледокола в момент контакта корпуса со льдом. Скорость движения ледокола при этом контролируется по показаниям судового ледового лага, а отправной точкой служит длина разбега равная 2-3 корпусам ледокола. При работе в данных условиях реверс ГЭД выгодно проводить сразу же после остановки судна. При движении вниз по течению несмерзшиеся заторы эффективнее преодолевать, двигаясь задним ходом.

### **Заключение**

Многолетний опыт эксплуатации ледоколов проекта 1191 показал, что конструктивные особенности и технические характеристики обеспечивают его ходовые качества, достаточные для безопасного и эффективного обслуживания ледового судоходства только в неарктических бассейнах ВВП России (при толщинах льда до 1,0 м).

В арктических водах (ВВП и прибрежные морские районы) ледовые условия являются «запредельными» для данного судна по критерию ходкости. Требуется увеличение его мощности, как минимум, вдвое.

### **Список литературы**

1. Серийные речные суда. Пассажирские суда; сухогрузные теплоходы и танкеры; толкачи, буксиры; баржи; прочие суда. Т. 8, ЦБНТИ Минречфлота. – М.: Транспорт, 1987. – 230 с.

2. Инженерный центр судостроения. Буксир-ледокол «Невская Застава». URL: <https://old.ship-project.ru/ru/pages/296/531/>
3. Справочник по серийным речным судам. Пассажирские суда; сухогрузные теплоходы и танкеры; толкачи, буксиры; баржи; прочие суда. Т. 7, ЦБНТИ Минречфлота. – М.: Транспорт, 1981. – 232 с.
4. Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 февраля 2016 г. № 327-р. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/8910>
5. Веселов Г.В., Кузмичев И.К., Минеев В.И., Новиков А.В. Обновление речного флота в условиях дефицита инвестиций // Научные проблемы водного транспорта, №61(2019), 2019. – с. 90-96. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/issue/view/4>
6. Дрейбанд Д.В., Коршунов Д.А., Ничипорук А.О. Развитие инфраструктуры внутреннего водного транспорта: стратегические задачи, проблемы и перспективы // Научные проблемы водного транспорта, №74(1), 2023. – с. 96-104, DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi74.347>
7. Главное управление РМРС. Письмо № 314-2.2-2728 от 08.02.2012 о признании компетентности ФБОУ ВО «ВГАВТ».
8. Ледовый паспорт ледокола проекта 1191. – Отчёт по теме НИР. Тронин В.А. – Горький, ГИИВТ, 1986. – 32 с.
9. Теоретические основы обеспечения безопасности судовождения на внутренних водных путях: монография / А.Н. Клементьев, И.К. Кузьмичёв, В.А. Лобанов [и др.]; под. ред. И.К. Кузьмичёва. – Нижний Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – 124 с. – ISBN 978-5901722-73-2. – Текст: непосредственный.
10. Ионов Б.П., Грамузов Е.М. Ледовая ходкость судов. 2 издание, исправленное. – СПб.: Судостроение, 2014. – 504 с., ил.
11. Тронин В.А. Повышение безопасности и эффективности ледового плавания судов на внутренних водных путях: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук: специальность 05.22.16 – Судовождение / Горький, 1990. – 414 с.
12. Fang Li, Muhammad Bilal Khawar, Andrei Sandru, Liangliang Lu, Mikko Suominen, Pentti Kujala. Full-scale measurement of ship performance and ice loads in Antarctic floe ice fields. Proceedings of the 26<sup>th</sup> International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 14-18, 2021, Moscow, Russia.

#### References

1. Serijnye rechnye suda. Passazhirskie suda; suhogruznye teplohoty i tankery; tolkachi, buksiry; barzhi; prochie suda. T. 8, CBNTI Minrechflota. – М.: Транспорт, 1987. – 230 с.
2. Inzhenernyj centr sudostroeniya. Buksir-ledokol «Nevskaya Zastava». URL: <https://old.ship-project.ru/ru/pages/296/531/>
3. Spravochnik po serijnym rechnym sudam. Passazhirskie suda; suhogruznye teplohoty i tankery; tolkachi, buksiry; barzhi; prochie suda. T. 7, CBNTI Minrechflota. – М.: Транспорт, 1981. – 232 с.
4. Strategiya razvitiya vnutrennego vodnogo transporta Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda, utverzhennaya rasporyazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 29 fevralya 2016 g. № 327-r. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/8910>
5. Veselov G.V., Kuzmichev I.K., Mineev V.I., Novikov A.V. Obnovlenie rechnogo flota v usloviyah deficita investicij // Nauchnye problemy vodnogo transporta, №61(2019), 2019. – с. 90-96. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/issue/view/4>
6. Dreyband D.V., Korshunov D.A., Nichiporuk A.O. Razvitie infrastruktury vnutrennego vodnogo transporta: strategicheskie zadachi, problemy i perspektivy // Nauchnye problemy vodnogo transporta, №74(1), 2023. – с. 96-104, DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi74.347>
7. Glavnoe upravlenie RMRS. Pis'mo № 314-2.2-2728 ot 08.02.2012 o priznanii kompetentnosti FBOU VO «VGAVT».
8. Ledovyj pasport ledokola proekta 1191. – Otchyot po teme NIR. Tronin V.A. – Gor'kij, GIIVT, 1986. – 32 с.
9. Teoreticheskie osnovy obespecheniya bezopasnosti sudovozhdeniya na vnutrennih vodnyh putyah: monografiya / A.N. Klement'ev, I.K. Kuz'michyov, V.A. Lobanov [i dr.]; pod. red.

- I.K. Kuz'michyova. – Nizhnij Novgorod: Izd-vo FGBOU VO «VGUVT», 2020. – 124 s. – ISBN 978-5901722-73-2. – Tekst: neposredstvennyj.
10. Ionov B.P., Gramuzov E.M. Ledovaya hodkost' sudov. 2 izdanie, ispravlennoe. – SPb.: Sudostroenie, 2014. – 504 p. – Tekst: neposredstvennyi.
  11. Tronin V.A. Povyshenie bezopasnosti i effektivnosti ledovogo plavaniya sudov na vnutrennih vodnyh putyakh: dissertaciya na soiskanie uchyonoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk: special'nost' 05.22.16 – Sudovozhdenie / Gor'kij, 1990. – 414 s.
  12. Fang Li, Muhammad Bilal Khawar, Andrei Sandru, Liangliang Lu, Mikko Suominen, Pentti Kujala. Full-scale measurement of ship performance and ice loads in Antarctic floe ice fields. Proceedings of the 26th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 14-18, 2021, Moscow, Russia.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Лобанов Василий Алексеевич**, профессор кафедры Судовождения и безопасности судоходства, доцент, д.т.н., кафедра Судовождения и безопасности судоходства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, Россия, Нижний Новгород, Нестерова 5, e-mail: lobbas@mail.ru.

**Vasily A. Lobanov**, Professor of department of Navigation and safety of navigation, associate professor, Dr. Sci. Tech., department of Navigation and safety of navigation, Federal State-Financed Educational Institution of Higher Education «Volga State University of Water Transport» (FSFEI HE VSUWT), 603950, Russia, Nizhny Novgorod, Nesterova 5

Статья поступила в редакцию 18.05.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 18.05.2023; published online 20.09.2023.

УДК 623.828:532.5

DOI: 10.37890/jwt.vi76.402

## **Исследование поведения коэффициентов взаимодействия системы корпус-двигатель по данным натурных испытаний речных грузовых судов**

**А.Ю. Платов**

<https://orcid.org/0000-0002-4589-0348>

*Нижегородский архитектурно-строительный университет, г. Н.Новгород, Россия*

**Аннотация.** Вычисление коэффициентов взаимодействия необходимо для проведения судовых тяговых расчётов, которые применяются при решении задач нормирования времени следования и расхода топлива, а также для эксплуатационного обоснования новых судов. В научной и учебной литературе можно найти описание нескольких эмпирических методов для расчёта коэффициентов взаимодействия, однако данные модельных испытаний представлены крайне скудно, а данные натурных испытаний полностью отсутствуют. На основе существующих данных натурных теплотехнических испытаний судов были проведены расчёты коэффициентов взаимодействия и проведено сравнение этих данных с имеющимися методами расчёта, а также положениями гидродинамической теории взаимодействия. Показано, что эмпирические методы расчёта не соответствуют данным натурных испытаний даже на качественном уровне. Вместе с тем показано, что данные натурных испытаний качественно соответствуют положениям теории взаимодействия.

**Ключевые слова:** коэффициенты взаимодействия, коэффициент попутного потока, коэффициент засасывания, натурные испытания, теория взаимодействия, судовые тяговые расчёты, нормирование времени следования и расхода топлива.

## **Study of the ship-propeller interaction by trials of the river cargo ships**

**Alexander J. Platov**

<https://orcid.org/0000-0002-4589-0348>

*Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** The calculation of the ship interaction is necessary for prediction of ships power, which are used in the problems of computation of the ships velocity and fuel consumption, as well as for the preliminary design of new ships. In the scientific and educational literature there are descriptions of several empirical methods for calculating wake fraction and thrust deduction. However, model trials data are extremely scarce, and ships trials data are completely absent. Based on the existing data of full-scale trials of ships, ship interaction coefficients were calculated and these data were compared with the available empirical methods, as well as with the hydrodynamic theory of interaction. It is shown that empirical methods do not correspond to the data of full-scale trials, even at a qualitative level. At the same time, it is shown that the data of full-scale trials qualitatively correspond to the theory of interaction.

**Keywords:** ship propulsion, wake fraction, thrust deduction, full-scale trials of ships, ship hydrodynamics, rate of ship velocity and fuel consumption

### **Введение**

Определение коэффициентов взаимодействия (КВ) системы корпус-двигатель (СКД) является одной из важнейших задач гидродинамики судна и имеет большое практическое значение для прогнозирования ходовых характеристик грузовых судов.

Для определения КВ СКД по методу Фруда, разработанному в середине 19-го века, проводятся модельные испытания судов в гидродинамических бассейнах. Развитие вычислительной техники сделало возможным с начала 2000-х годов практическое применение методов вычислительной гидродинамики для оптимизации ходовых характеристик. Для решения задач предварительного проектирования и технического обоснования судов также используются упрощённые эмпирические методы вычисления КВ СКД, основанные, как правило, на модельных испытаниях в гидродинамических бассейнах.

Кроме указанных выше задач вычисление КВ СКД требуется для расчётов винтовых и ограничительных характеристик при нормировании времени следования, а также для рейсового планирования работы грузовых судов. Для таких задач применимы только эмпирические (инженерные) методы вычисления КВ СКД, причём конечные результаты таких вычислений должны сопоставляться с теми характеристиками режима движения грузовых судов, которые требуются экипажам судов: частотой вращения гребных винтов (ГВ), скоростью судна относительно берега и эффективной мощностью главных двигателей (ГВ). Многолетний практический опыт автора, связанный с нормированием скоростей грузовых судов, говорит о высокой погрешности инженерных методов тяговых расчётов при определении упомянутых характеристик, возникающей из-за погрешностей вычисления сопротивления суда, гидродинамических характеристик ГВ, а также КВ СКД.

Между тем в научной и учебной литературе отсутствуют данные натурных испытаний по измерению КВ СКД, вероятно, в силу нетривиальности подобных испытаний. Такое положение дел мешает как оценке адекватности существующих эмпирических методов, так и возможному совершенствованию инженерных методов расчёта ходкости.

Существующие данные ходовых и теплотехнических испытаний, однако, позволяют провести анализ поведения КВ при работе судов на винтовых характеристиках, а также сопоставить это поведение с получаемым с помощью инженерных методов, что и является целью настоящего исследования.

### **Существующие методы расчёта коэффициентов взаимодействия**

В классической схеме для оценки ходовых качеств судна вводится пропульсивный коэффициент  $\eta$ , который определяется по выражению [1]:

$$\eta = \frac{1}{z_p} \frac{Rv}{2\pi M' n} = \eta_p \eta_k i, \quad (1)$$

где  $z_p$  – число двигателей;  $R$  – сопротивление воды движению судна;  $M'$  – момент на валу ГВ при работе за корпусом судна;  $n$  – частота вращения ГВ;  $\eta_p$  – к.п.д. ГВ в свободной воде;  $\eta_k$  – коэффициент влияния корпуса,  $i$  – коэффициент неравномерности поля скоростей.

Коэффициенты в (1) определяются по выражениям:

$$\eta_p = \frac{Pv_p}{2\pi Mn}; \eta_k = \frac{Rv}{z_p P' v_p}; i = \frac{M P'}{M' P}, \quad (2)$$

где  $P'$  и  $P$  – упор ГВ за корпусом судна и в свободной воде соответственно;  $M$  – момент на валу ГВ в свободной воде;  $v_p$  – скорость потока через сечение ГВ.

Выражения коэффициентов через безразмерные характеристики имеют вид:

$$\eta_p = \frac{K_1(\lambda_p) \lambda_p}{K_2(\lambda_p) 2\pi}; \eta_k = \frac{1-t}{1-w}; i = \frac{i_1}{i_2}, \quad (3)$$

где  $K_1(\lambda_p) = P/(\rho D^4 n^2)$  – коэффициент упора ГВ в свободной воде;  $K_2(\lambda_p) = M/(\rho D^5 n^2)$  – коэффициент момента ГВ в свободной воде;  $\lambda_p = v_p/nD$  – относительная поступь ГВ;  $D$  – диаметр ГВ;  $w$  – коэффициента попутного потока;  $t$  – коэффициента засасывания;  $i_1 = P'/P = K'_1(\lambda)/K_1(\lambda_p)$  и  $i_2 = M'/M = K'_2(\lambda)/K_2(\lambda_p)$  – коэффициенты неравномерности поля скоростей по упору и по моменту соответственно;  $\lambda = v/nD$  – видимая (кажущаяся) относительная поступь;  $K'_1(\lambda)$  и  $K'_2(\lambda)$  – коэффициенты упора и момента при работе ГВ за корпусом судна, рассчитываемые аналогично  $K_1$  и  $K_2$ , но для значений  $P'$  и  $M'$  соответственно.

Взаимодействие СКД описывается в этой схеме с помощью коэффициентов  $t$ ,  $w$ ,  $i_1$  и  $i_2$ .

Коэффициенты взаимодействия были введены в 1883 г. Р. Фрудом [2], Д. Тейлор в [3] предложил иное определение  $w$ , а законченный вид схема (1)-(3) приобрела уже в середине 30-х годов 20 века в цикле статей Э.Э. Папмеля [4].

Все функции в (1)-(3) определяются с помощью модельных испытаний и пересчитываются на натуре. Принципиальный порядок определения КВ следующий.

Отдельно для ГВ определяются функции  $K_1(\lambda_p)$  и  $K_2(\lambda_p)$ , а также отдельно для корпуса функция сопротивления  $R(v)$ . Далее на испытаниях модели самоходом в жёсткой упряжке определяются функции  $K'_1(\lambda)$  и  $K'_2(\lambda)$ .

После чего коэффициент попутного потока  $w = 1 - \lambda_p/\lambda$  рассчитывается из решения уравнения

$$K_1(\lambda_p) = K'_1(\lambda). \quad (4)$$

При таком подходе, как можно видеть,  $i_1 = 1$ . Иначе говоря, коэффициент попутного потока определяется из равенства  $P = P'$ .

Коэффициент неравномерности  $i_2$  определяется затем из уравнения

$$i_2 = \frac{K'_2(\lambda)}{K_2(\lambda_p)}. \quad (5)$$

Коэффициент засасывания рассчитывается из выражения

$$t = 1 - \frac{R}{P'} = 1 - \frac{K_e(\lambda)}{K'_1(\lambda)} = 1 - \frac{K_e(\lambda)}{K_1(\lambda_p)} = 1 - \frac{R}{P'} \quad (6)$$

где  $K_e = R/(z_p \rho D^4 n^2)$ .

Можно заметить, что в методе Э.Э. Папмеля коэффициент  $w$  определялся через отношение поступей  $\lambda$  и  $\lambda_p$  при нулевом упоре ГВ за корпусом судна и в свободной воде и принимался постоянным. Поэтому величина  $i_1$  была отличной от 1 и переменной.

Очевидно, что в описанной схеме можно изменить определение коэффициента  $w$  и вычислять его, исходя из соотношений моментов. Впервые такой вариант вычисления был предложен в 1937 г. Ф. Хорном на 4-ой Международной конференции опытовых бассейнов (МКОБ) [5], который показал, что при использовании равенства моментов получаются другие результаты.

Поэтому в настоящее время различают два коэффициента попутного потока: коэффициент по упору  $w_p$ , вычисляемый из (4), и коэффициент по моменту  $w_M$ , который вычисляется из решения следующего уравнения

$$K_2(\lambda_p) = K'_2(\lambda). \quad (7)$$

При таком подходе получается, что  $i_2 = 1$ , а  $i_1$  будет вычисляться из соотношений коэффициентов упора. На практике модельных испытаний, как правило, применяется метод с коэффициентом  $w_p$ , в то время как натурные испытания дают возможность оперировать с  $w_M$ . Как утверждается в [6], разница между двумя описанными способами незначительная, однако судя по данным испытаний модели морского грузового судна, приведённым в материалах 9-ой МКОБ [7], разница между  $w_p$  и  $w_M$  может достигать 11%.

На базе модельных испытаний, проведённых по вышеописанной принципиальной схеме, в разное время были предложены эмпирические зависимости для вычисления КВ. Метод Э.Э. Папмеля, предназначенный для морских судов, был модифицирован для речных судов в ЦНИИРФ (1951) [8]. Кроме этого, в разное время для расчёта коэффициентов  $w$  и  $t$  были предложены методы Е.И. Степанюка (1967) [9], М.П. Зорина (1977) [10] и В.А. Лесюкова (1982) [11]. Отечественные методы разработаны в вариантах как для открытых ГВ, так и для ГВ в насадках.

Методы для речных судов автору из иностранной литературы неизвестны. Для морских судов на основе испытаний в 1949-1950х гг. был разработан метод С. Харвальда [12] (1983), в современном варианте излагаемый в [13]. Наиболее часто в современной, в том числе и отечественной литературе рекомендуется метод Холтропа-Меннена, который был разработан в 1977 г. тоже для морских судов и усовершенствован в 1984 г. [14].

#### **Материалы и методы исследования**

В настоящем исследовании анализ поведения КВ проводился по данным натурных испытаний из [15; 16]. Эти испытания для грузовых судов были выполнены в конце 70-х-начале 80-х годов под руководством начальников теплопартий ВОРПа Е.М. Тумаринсона и «Волготанкера» - А.И. Есина. Кроме этого, привлекались неопубликованные данные испытаний судов новых проектов, выполненных в начале 1990-х сотрудником ГИИВТа В.В. Бажанкиным и в 2010-х годах начальником теплопартии Волжского пароходства С.Г. Смирновым. Всего из указанных источников автором были собраны данные по 98 судам разных проектов.

В результате теплотехнических и ходовых натурных испытаний измеряются винтовые характеристики для скорости судна и эффективной мощности главных двигателей (ГД) при разных значениях частоты вращения вала ГД. Этих данных достаточно, чтобы вычислить коэффициент попутного потока  $w_M$  в зависимости от скорости судна или частоты вращения.

Для этого требуется использование какого-нибудь метода для вычисления коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$ . В настоящем исследовании использовалась известная аппроксимация кривых действий по методу Х.В. Лербса (1975) [17].

Вычисление коэффициента засасывания  $t$  может быть получено только при использовании какого-нибудь метода расчёта сопротивления, который может иметь в общем случае большую погрешность. Для данного исследования применялась аппроксимация остаточного сопротивления по формуле [18]:

$$R_R = 259,1(1 + 114,8(Fr - 0,139)^2)(B/T/8,425)^{0,682}gVFr^3, \quad (8)$$

где  $Fr$  – число Фруда по длине корпуса,  $B$  – ширина корпуса,  $T$  – осадка,  $V$  – водоизмещение,  $g$  – ускорение свободного падения. Формула (9) получена по данным модельных испытаний речных грузовых судов с коэффициентом полноты водоизмещения  $\delta \geq 0,8$ .

Применение «общих» методов для расчёта кривых действия, а также сопротивления вносит неизвестную погрешность в абсолютные значения вычисляемых КВ. Однако, поведение КВ при изменении режимов движения можно ожидать качественно верным.

**Корреляция между натурными данными и методами расчёта коэффициентов взаимодействия**

Первый вопрос исследования: насколько верно эмпирические методы отражают зависимость КВ от характеристик судна. Для ответа на этот вопрос были определены коэффициенты корреляции по Пирсону. За  $x$  принято значение, вычисленное по эмпирическим методам (расч.), за  $y$  – результат расчёта по натурным данным (эсп.), то есть рассчитывалась теснота связи зависимости  $w_{M\text{эсп.}} = f(w_{M\text{расч.}})$ .

Для судов без насадок (всего 37 судов) был рассчитан  $w_M$  по натурным данным, который сравнивался с расчётным  $w_p$ , определённым по методам ЦНИИРФ, Лесюкова, Харвальда и Холтропа. Коэффициент корреляции Пирсона для этих четырёх методов приведён в табл. 1.

Таблица 1

**Значения коэффициента корреляции по Пирсону**

№	Метод	$w_{M\text{эсп.}} = f(w_{M\text{расч.}})$	$t_{\text{эсп.}} = f(t_{\text{расч.}})$
1	ЦНИИРФ	-0,016	0,005
2	Лесюкова	-0,365	-0,208
3	Харвальда	-0,247	0,048
4	Холтропа	-0,054	-0,141

Как можно видеть, корреляции нет никакой. Погрешность при такой корреляции обсуждать нет смысла. Поскольку в эмпирических методах взаимодействия  $t_{\text{расч.}}$  связано с  $w_{M\text{расч.}}$  функциональной связью, то коэффициент корреляции для зависимости  $t_{\text{эсп.}} = f(t_{\text{расч.}})$  будет точно такой же, как в табл. 1. Вместо этого был рассчитан коэффициент корреляции между натурным значением  $t_{\text{расч.}}$  и расчётным, но вычисленным по эмпирическим формулам, в которых подставлялось натурное значение  $w_{M\text{эсп.}}$ . Вычисленные коэффициенты Пирсона приведены также в табл. 1.

Нужно заметить, что при вычислении  $t$  предполагалось, что  $K_1(\lambda_p) \approx K_1'(\lambda)$ .

На рис. 1 можно видеть значения расчётных по методу ЦНИИРФ коэффициентов  $w_p$  в сравнении с натурными  $w_M$  и полное отсутствие зависимости между этими величинами.

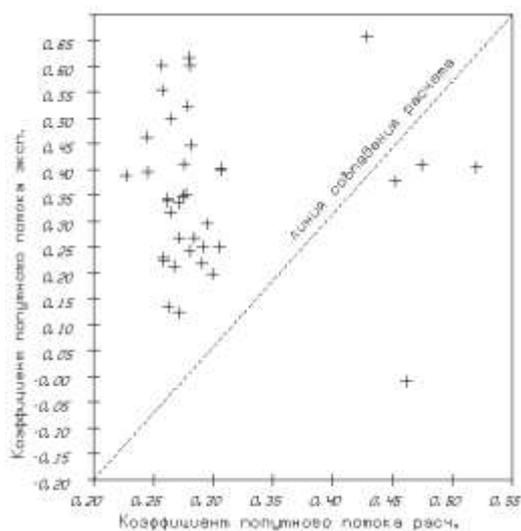


Рис. 1. Отклонение расчётного значения коэффициента попутного потока от данных натуральных испытаний

Можно также видеть, что один из коэффициентов  $w_M$  имеет отрицательное значение (-0,01 для судна проекта №795). Расчётное значение, напротив, велико (0,461).

**Зависимость коэффициентов взаимодействия от скорости движения судна**

Второй вопрос исследования: какова вариация значений КВ на винтовых характеристиках.

Во всех вышеперечисленных эмпирических методах расчёта КВ коэффициент попутного потока считается постоянным на обычных режимах движения судов. Это прямо следует из формул для вычисления  $w_p$ . Например, формула метода ЦНИИРФ имеет вид:

$$w_p = 0,11 + 0,08\delta^2 V^{\frac{1}{2}} D^{\frac{1}{2}} + \Delta w_p, \tag{9}$$

где величина  $\Delta w_p$  растёт со скоростью судна, но равна нулю для скоростей при числе Фруда меньше 0,2. А под эту категорию попадают все обычные речные грузовые суда. Сложная аппроксимация  $w_p$  Холтропа [14] для судов с двумя винтами вообще не содержит зависимости от скорости.

Согласно модельным испытаниям, проведённым Харвальдом в 70-е годы [12], изменение  $w_p$  в диапазоне чисел Фруда 0,15-0,24 достигает 25%, причём  $w_p$  уменьшается с ростом числа Фруда. При этом испытывались одновинтовые модели с коэффициентом полноты  $\delta = 0,755 \div 0,805$ .

В исследовании В.Граффа (1961) [19] испытывалась модель двухвинтового речного судна типа «Густав Кёнигс» с коэффициентом полноты  $\delta = 0,866$  при разных относительных глубинах. При наибольшей относительной глубине ( $H/T = 2,5$ ) коэффициент  $w_p$  незначительно снижается с ростом скорости. При меньшей глубине поведение становится противоположным – рост вместе со скоростью.

В исследовании Г. Лутра (1976) [20] исследовались три модели речных двухвинтовых судов с коэффициентом полноты  $\delta = 0,874 \div 0,876$ . Качественные результаты совпадают с результатами В. Граффа.

Подобные результаты можно видеть также в исследовании [21], в котором испытывались модели мелкосидящих судов с туннельными обводами кормы.

Расчёт коэффициента  $w_M$  на основе натурных испытаний находится в полном противоречии с перечисленными выше результатами. Это можно видеть из рис. 2.

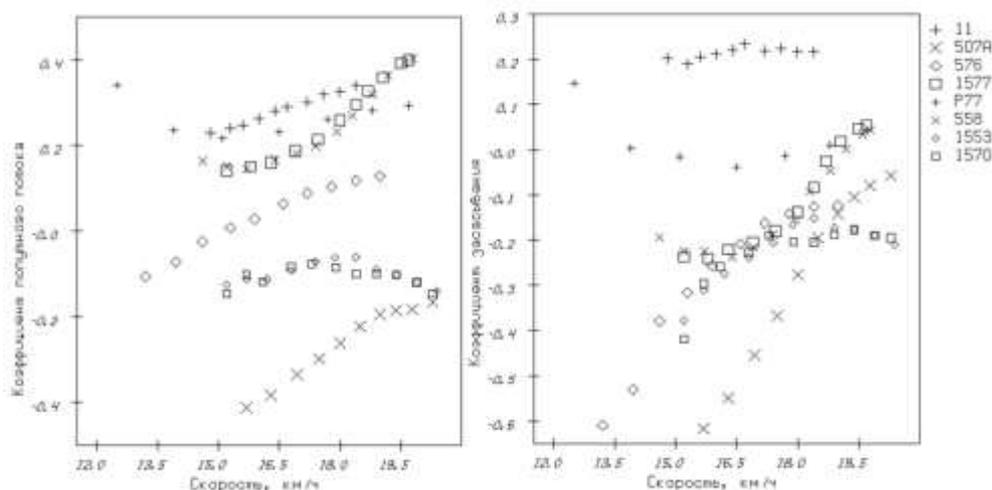


Рис. 2. Зависимость КВ от скорости судна, слева: коэффициент попутного потока, справа: коэффициент засасывания

Для большинства судов коэффициент  $w_M$  возрастает при увеличении скорости на винтовой характеристике. У некоторых судов коэффициент  $w_M$  не меняется, и есть суда, у которых функция  $w_M$  не монотонна.

Объяснить возрастающий характер  $w_M$  влиянием мелководья нельзя. Для судна проекта №507А относительная глубина  $H/T = 8,3$ , но при этом его коэффициент  $w_M$  возрастает. Для судна проекта №11  $H/T = 3,85$  – и это минимальная величина из представленных на рис. 2 судов. Однако, для этого проекта коэффициент  $w_M$  примерно постоянный.

Нельзя объяснить и нефизичными натурными данными. Скольжение винта, как известно находится в пределах от 0 до 1. На рис. 3 приведены рассчитанные видимое (кажущееся) и действительное скольжение для тех же проектов.

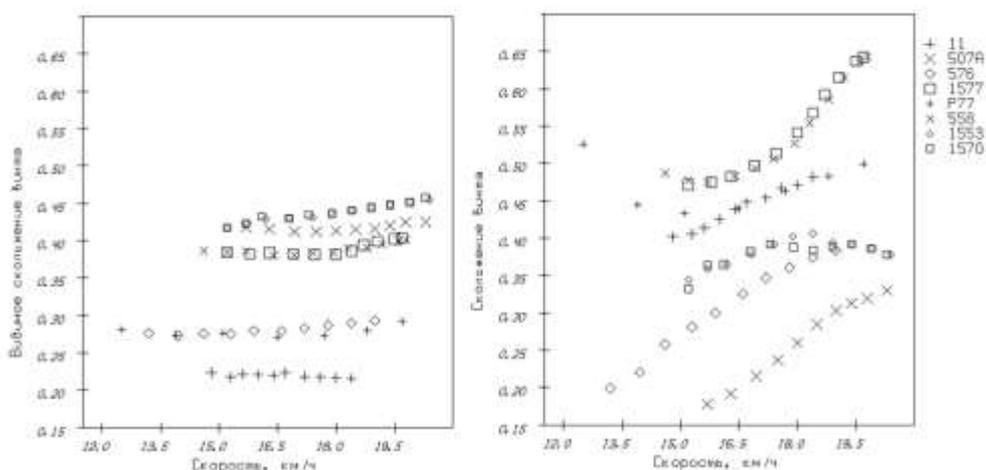


Рис. 3. Зависимость скольжения винта от скорости судна, слева: видимое, справа: действительное

Для прояснения закономерности поведения  $w_M$  получим его приближённое аналитическое выражение. Для этого предположим, что винтовая характеристика мощности на валу ГВ  $N_p$  выражается через степенную функцию:

$$N_p = N_0(v/v_0)^\alpha, \tag{10}$$

где  $N_{p0}$  и  $v_0$  – мощность на валу ГВ и скорость при номинальной частоте вращения ГД. В «идеальном» случае степень  $\alpha = 3$ , но в реальности она может принимать разные значения.

Винтовую характеристику частоты вращения вала ГВ  $n$  также описываем степенной функцией:

$$n = n_0(v/v_0)^\beta, \tag{11}$$

где  $n_0$  – номинальная частота вращения вала ГВ. В «идеальном» случае  $\beta = 1$ , но обычно  $\beta$  немного больше 1.

Можно показать, что кривые действия ГВ хорошо аппроксимируются функцией

$$K_2 = K_{20}(1 - (\lambda_p/\lambda_2)^{\gamma_2}), \tag{12}$$

в которой параметры  $K_{20}$  и  $\lambda_2$  – коэффициент момента на швартовах и поступь нулевого момента соответственно – определяются по имеющейся кривой  $K_2$ , а параметр  $\gamma_2$  может быть вычислен через минимизацию суммы квадратов ошибок.

Используя аппроксимации (10)-(12), можно после некоторых преобразований получить из уравнения (4) явное выражение для  $w_M$ :

$$w_M = 1 - \frac{\lambda_0}{v/(n_0 D)} \left(\frac{v}{v_0}\right)^\beta v^2 \sqrt{1 - \frac{N_0}{2\pi\rho D^5 n_0^3 K_{02}} \left(\frac{v}{v_0}\right)^{\alpha-3\beta}} \quad (13)$$

Из (13) можно видеть, что если  $\beta \approx 1$  и  $\alpha > 3\beta$ , то  $w_M$  будет монотонно возрастающей функцией скорости  $v$ .

Для простоты будем аппроксимировать натурные винтовые характеристики, проводя кривые (10) и (11) через начало координат, первую и последнюю точки натурных кривых. Результаты такой аппроксимации можно видеть для двух проектов судов из рис. 4.

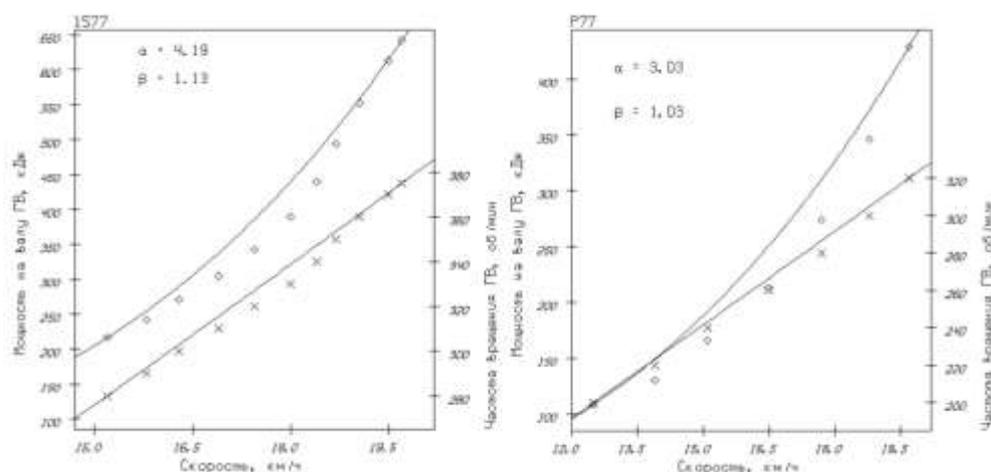


Рис. 4. Аппроксимация натуральных винтовых характеристик  
Слева: проект №1577, справа: P77

Можно видеть, что показатели степеней  $\alpha$  и  $\beta$  должны быть переменными возрастающими величинами, но для целей анализа достаточно такой грубой аппроксимации.

Ниже в табл. 2 приведены расчёты показатели степеней  $\alpha$  и  $\beta$  для нескольких проектов, а также показано выполнение условия  $\alpha > 3\beta$ .

Таблица 2

Значения показателей степеней аппроксимации винтовых характеристик

№	Номер проекта	$\alpha$	$\beta$	$\alpha \geq 3\beta$
1	11	3,363	0,978	Да
2	507А	4,52	1,06	Да
3	576	4,036	1,046	Да
4	1577	4,19	1,13	Да
5	P77	3,03	1,03	Нет
6	558	3,855	1,078	Да
7	1553	3,958	1,248	Да
8	1570	3,974	1,227	Да
9	11	4,05	1,16	Да
10	11	2,74	1,00	Нет

11	P32	3,56	1,19	Нет
12	507Б	3,17	0,99	Да
13	576	3,63	1,15	Да
14	576	2,83	0,93	Да
15	573	4,64	1,28	Да
16	573	3,43	1,23	Нет
17	621	3,00	1,00	Да

Примечание. Первые 8 проектов соответствуют изображённым на рис. 2. Суда с одинаковыми номерами проектов имеют разные ГВ и ГД.

Из табл. 2 можно видеть, что вариация показателей степеней в аппроксимациях (10) и (11) очень велика, в том числе у судов одного номера проекта, имеющих одинаковые размерения корпусов. При этом большое значение показателя  $\alpha$  не гарантирует выполнение условия возрастания  $\alpha > 3\beta$ , как верно и обратное: значение  $\alpha < 3$  не означает, что функция  $w_M$  будет убывающей. И поскольку, это условие приближённое, то не для всех проектов оно гарантирует возрастающее поведение. Например, для проекта №1553.

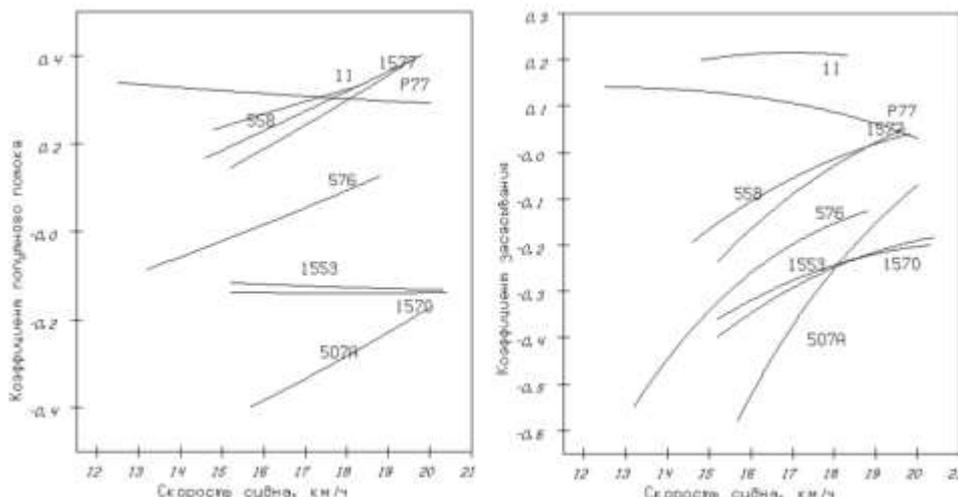


Рис. 5. Аппроксимация функций  $w_M = f(v)$  и  $t = f(v)$

На рис. 5. можно видеть вычисленные по (13) аппроксимации коэффициентов попутного потока и засасывания на винтовой характеристике для ряда проектов судов. Хотя аппроксимация груба и, например, для проекта №P77 она качественно меняет поведение функций, тем не менее, в целом рис. 5 выглядит значительно яснее. Из всего 44 судов, для которых были выполнены подобные расчёты, у 33 из них условие возрастания функции  $w_M$  выполняется.

Можно также, видеть, что поведение коэффициентов  $w_M$  для судов проектов №1535 и №1570 отличаются относительной стабильностью. Это суда с 3-х лопастными ГВ. Чтобы получить отдельную картину, были проведены аналогичные расчёты для судов с такими винтами, которые можно видеть на рис. 6 слева.

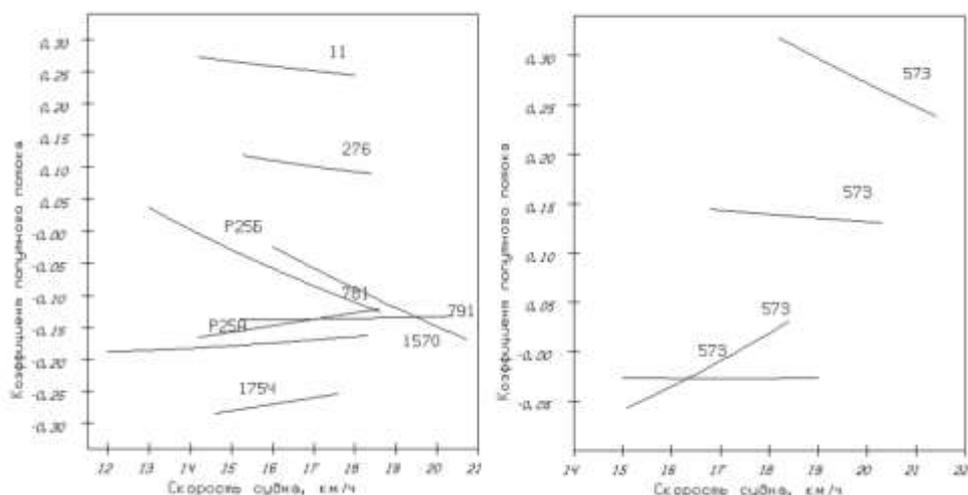


Рис. 6. Аппроксимация функций  $w_M = f(v)$   
 Слева: для судов с трёхлопастными винтами, справа: для судов проекта №573

Видимо, можно предполагать, что, действительно, трёхлопастные СКВ ведут себя в целом иначе, чем четырёхлопастные.

Практически все проекты с насадками имеют либо отрицательный, либо очень малый ( $< 0,1$ ) коэффициент  $w_M$  при движении с минимальной скоростью. Исключением являются суда трёх проектов: P86M, № 276 (он показан на рис. 6) и два из проектов № 573.

Расчёты по всем проектам №573 показаны на рис. 6 справа. Можно видеть, что поведение коэффициента  $w_M$  чрезвычайно разнообразное и не объясняется ни наличием насадки, ни параметрами корпуса.

### О постоянстве парали засасывания

Третий вопрос исследования: является ли параль засасывания константой.

Как известно, на основе данных модельных испытаний Э.Э Папмель в 30-х годах вывел следующую зависимость, которая считается справедливой для всех скольжений:

$$tS_1 = \text{const}, \quad (14)$$

где  $S_1 = 1 - \lambda_p / (H_1/D)$  – относительное скольжение ГВ,  $H_1/D$  – шаговое отношение нулевого упора.

Поскольку при работе на швартовах  $S_1 = 1$ , то можно видеть, что константа в (14) равна коэффициенту засасывания на швартовах  $t_0$ . Исходя из оснований, которые здесь не излагаются, этот коэффициент Э.Э. Папмель назвал паралью засасывания (Само слово «параль» придумал Ф.А.Брикс - создатель паральной теории гребного винта).

Изложенное эмпирическое положение встречается только в отечественной литературе, причём практически во всех книгах, посвящённым расчётам ходкости судна. На основании (14) рекомендуется пересчитывать коэффициент засасывания с «расчётного» режима, определённого по эмпирическим формулам, на иной режим движения.

На рис. 7 приведены графики зависимости (14) при изменении скорости на винтовой характеристике.

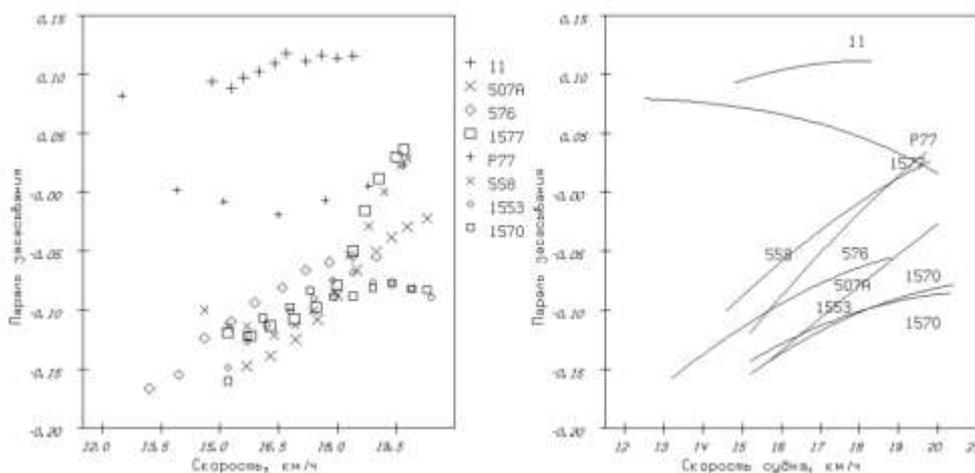


Рис. 7. Зависимость  $tS_1 = f(v)$   
 Слева: табличное представление зависимости, справа: аппроксимация

Можно видеть, что положение (14) не выполняется, причём даже в узком диапазоне изменения относительной поступи, которое характерно для винтовой характеристики.

**Согласие натуральных испытаний с теорией взаимодействия**

Четвёртый вопрос исследования: насколько хорошо изменение «натурных» КВ соответствует положениям ТВ. Этот вопрос разделим на два.

Во-первых, посмотрим, как связаны между собой значения коэффициентов попутного потока и засасывания.

Согласно теории взаимодействия идеального движителя с корпусом судна (ТВ) коэффициент засасывания связан с коэффициентом попутного потока функциональной зависимостью. Это положение было теоретически сформулировано впервые В. Ранкином в 1865 г., см. [22], а также прямо следует из эмпирических зависимостей для вычисления  $t$ .

На рис. 8. приведены зависимости между «натурными» коэффициентами  $w_M$  и  $t$ .

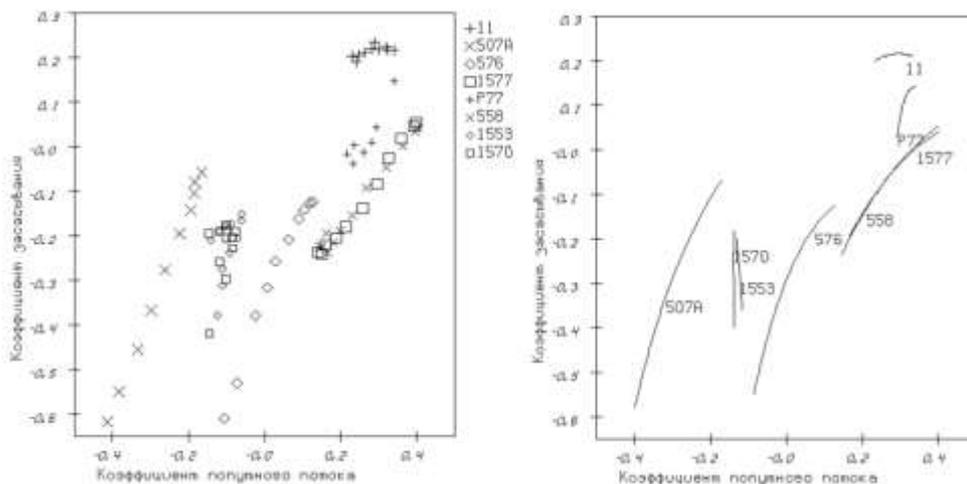


Рис. 8. Зависимость  $t = f(w_M)$   
 Слева: табличное представление зависимости, справа: аппроксимация

Можно видеть, что связь между коэффициентами довольно близкая. Коэффициент корреляции по Пирсону приведён в табл. 3.

Таблица 3

Значения коэффициента корреляции по Пирсону

№	Номер проекта	$t_{\text{эксп.}} = f(w_{\text{Мэксп.}})$
1	11	0,647
2	507A	0,999
3	576	0,989
4	1577	0,994
5	P77	0,905
6	558	0,992
7	1553	0,675
8	1570	0,652

Таким образом, теоретическое положение, «поддержанное» эмпирическими зависимостями, о тесной связи  $w_M$  и  $t$  в целом подтверждается.

Во-вторых, проверим, насколько функциональная зависимость между  $w_M$  и  $t$  соответствует теоретической.

Согласно теории взаимодействия коэффициенты взаимодействия идеального движителя с корпусом судна связаны друг с другом следующими выражениями:

$$\frac{v_a}{v} = \sqrt{1 + \sigma_p} - 1; \quad w = t \left( 1 + \frac{2-t v_a}{1-t 2v} \right); \quad (12)$$

где  $v_a$  – осевая вызванная скорость в струе движителя на бесконечности;  $\sigma_p$  – коэффициент нагрузки движителя по упору. Заметим, что  $t$  в (15), строго говоря, является только потенциальной частью коэффициента засасывания. То же самое касается и  $w$ .

Для выполнения расчётов по натурным данным для каждого набора натуральных данных  $v, N_p$  определялся коэффициент засасывания, показанный на рис. 2 справа, затем по (15) определялся коэффициент попутного потока  $w$ . Также был построен график зависимости  $t = f(w)$ , аналогичный рис. 6 слева. Результаты вычислений показаны на рис. 9.

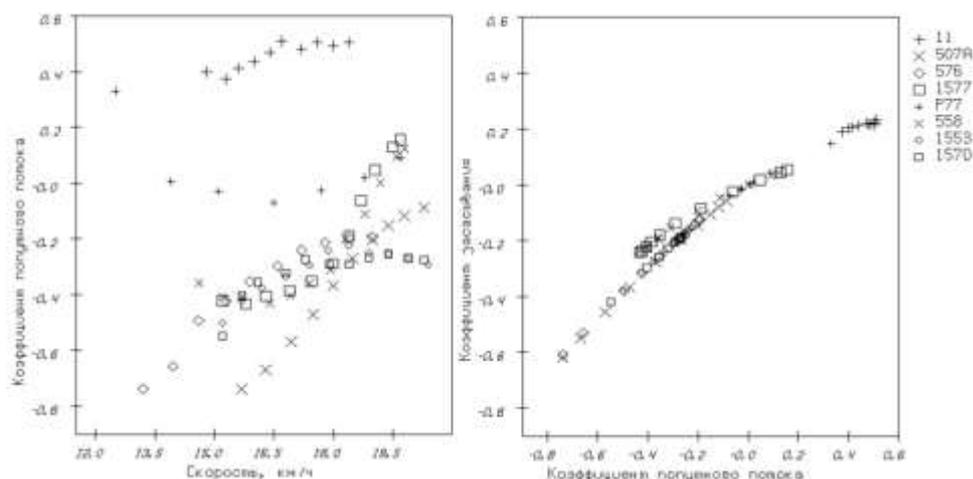


Рис. 9. Зависимости теоретических КВ, слева: зависимость  $w = f(v)$ , справа: зависимость  $t = f(w)$

Сравнивая рис. 9 слева и рис. 2 справа, можно видеть, что в целом коэффициенты взаимодействия связаны почти линейной зависимостью, что соответствует как теории, так и эмпирическим зависимостям.

### **Выводы**

В результате проведённого исследования можно сделать несколько выводов.

Во-первых, вариация значений КВ СКД при изменении параметров корпуса и ГВ согласно эмпирическим методам расчёта КВ совершенно не соответствует натурным испытаниям.

Во-вторых, КВ СКД существенным образом зависят от скорости судна. Хотя сам по себе этот вывод не является новым, но известные в научной литературе зависимости КВ СКД от скорости принципиально другие.

В-третьих, широко известная формула Папмеля для пересчёта коэффициента засасывания не соответствует натурным данным.

В-четвёртых, теория взаимодействия идеального движителя с корпусом судна находится в соответствии с натурными данными по характеру функциональной зависимости между коэффициентами попутного потока и засасывания, несмотря на сложную зависимость этих коэффициентов от скорости. Без данного вывода можно было бы предполагать недостоверность натурных данных.

### **Список литературы**

1. Жученко М. М., Иванов В. М. Расчёты гребных винтов. М.: Машгиз, 1953. 276 с.
2. Froude R.E. Description of a method of investigation of screw-propeller efficiency. Trans. Inst. Naval Archit. 24 (1883), P. 231.
3. Taylor D. W. Resistance of ships and screw propulsion. - Whittaker & Co., 1893. - 234 p.
4. Папмель Э.Э. Практический расчёт гребного винта. М.-Л.: изд. журн. «Торговый флот», 1926-1936. Вып.1 и 2.
5. Horn F. Bestimmung des Mitstroms durch Versuch «Model mit Schraube». Internationale Tagung der Leiter der Schleppversuchsanstalten. Berlin, 1937. S. 54-62.
6. Molland, A. F., Tuimock S.R., Hudson D.A. Ship Resistance and Propulsion. Practical Estimation of Ship Propulsive Power. – Cambridge: Cambridge University Press, 2011. – p. 568. – ISBN 978-0-521-76052-2.
7. Standard Procedure for Resistance and Propulsion Experiments with Ship Models // Report of Resistance Comitee. Proceedings of 9<sup>th</sup> ITTC, 1960. pp. 237-258.
8. Басин А.М. Расчёт гребных винтов // Труды ЦНИИРФ. Вып. 13. Судовые движители. Речиздат, 1951.
9. Степанюк Е.И. Расчёт гидродинамического комплекса винт-насадка. Отчёт ЛИВТ. 1967.
10. Зорин М.П., Чудновский А.М. Выбор коэффициентов взаимодействия движителя с корпусом судна по данным натурных испытаний // Труды ЛИВТ. Теория и проектирование судов речного флота. Вып. 157. Л.: Транспорт, 1976. С. 25-29.
11. Лесюков В.А. Теория и устройство судов внутреннего плавания. Учебник для вузов водн. трансп. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1982. 303 с.
12. Harvald Sv. Aa. Resistance and Propulsion of Ships. John Willey & Sons, 1983. P. 362.
13. Lothar Birk. Fundamentals of Ship Hydrodynamics. Fluid Mechanics, Ship Resistance and Propulsion, John Wiley & Sons Ltd, 2019. P. 693.
14. Holtrop J. A Statistical Reanalysis of Resistance and Propulsion Data // International Shipbuilding Progress, 1984. Vol. 31. pp. 272-276.
15. Руководство по теплотехническому контролю серийных теплоходов. – Москва: Транспорт, 1980. – 424 с.
16. Руководство по теплотехническому контролю серийных теплоходов. – Москва: Транспорт, 1986. – 205 с.
17. Van Lammeren, W.P.A., van Manen, J.D. & Oosterveld, M.W.C. The Wageningen B-screw Series. Trans. S.N.A.M.E. 1969, 77, 269–317.
18. Васильева О.Ю. Обоснование эксплуатационно-технических характеристик грузовых судов внутреннего плавания на основе критерия энергоэффективности: автореф. дис.

канд. техн. наук: 05.22.19 / Васильева Оксана Юрьевна. – Нижний Новгород, 2022. - 27 с.

19. Graff W. Untersuchungen über Änderungen von Sog und Nachstrom auf beschränkter Wassertiefe in stehenden und stromendem Wasser // Schiffstechnik, Bd. 8, H.44, 1961. S. 235-242.
20. Luthra G. Untersuchung der Nachstromverteilung an einem 2-Schrauben-Binnengutermotorschiff // Versuchsanstalt für Binnenschiffbau E.V., Duisburg, Bericht Nr. 788. H.11, 1976. S. 394-400.
21. Kulczyk J., Tabaczek T. Coefficients of Propeller-hull Interaction in Propulsion System of Inland Waterway Vessels with Stern Tunnels // The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. N. 3, Vol. 8, 2014. P. 377-384.
22. Lammeren W. P. A. Resistance, Propulsion and Steering of Ships: A Manual for Designing Hull Forms, Propellers and Rudders, Band 1, H. Stam-Haarlem-Holland, 1948. P. 366.

#### References

1. Zhuchenko M. M., Ivanov V. M. Raschety grebnykh vintov. M.: Mashgiz, 1953. 276 s.
2. Froude R.E. Description of a method of investigation of screw-propeller efficiency. Trans. Inst. Naval Archit. 24 (1883), P. 231.
3. Taylor D. W. Resistance of ships and screw propulsion. - Whittaker & Co., 1893. - 234 p.
4. Pappel' E.H.EH. Prakticheskii raschet grebnogo vinta. M.-L.: izd. zhurn. «Torgovyi flot», 1926-1936. Vyp.1 i 2.
5. Horn F. Bestimmung des Mitstroms durch Versuch «Model mit Schraube». Internationale Tagung der Leiter der Schleppversuchsanstalten. Berlin, 1937. S. 54-62.
6. Molland, A. F., Tuinock S.R., Hudson D.A. Ship Resistance and Propulsion. Practical Estimation of Ship Propulsive Power. – Cambridge: Cambridge University Press, 2011. – p. 568. – ISBN 978-0-521-76052-2.
7. Standard Procedure for Resistance and Propulsion Experiments with Ship Models // Report of Resistance Comitee. Proceedings of 9th ITTC, 1960. pp. 237-258.
8. Basin A.M. Raschet grebnykh vintov // Trudy TSNIIRF. Vyp. 13. Sudovye dvizhiteli. Rechizdat, 1951.
9. Stepanyuk E.I. Raschet gidrodinamicheskogo kompleksa vint-nasadka. Otchet LIVT. 1967.
10. Zorin M.P., Chudnovskii A.M. Vybora koefitsientov vzaimodeistviya dvizhitelya s korpusom sudna po dannym naturnykh ispytaniy // Trudy LIVT. Teoriya i proektirovanie sudov rechnogo flota. Vyp. 157. L.: Transport, 1976. S. 25-29.
11. Lesyukov V.A. Teoriya i ustroystvo sudov vnutrennego plavaniya. Uchebnik dlya vuzov vodn. transp. 4-e izd., pererab. i dop. M.: Transport, 1982. 303 s.
12. Harvald Sv. Aa. Resistance and Propulsion of Ships. John Willey & Sons, 1983. P. 362.
13. Lothar Birk. Fundamentals of Ship Hydrodynamics. Fluid Mechanics, Ship Resistance and Propulsion, John Wiley & Sons Ltd, 2019. P. 693.
14. Holtrop J. A Statistical Reanalysis of Resistance and Propulsion Data // International Shipbuilding Progress, 1984. Vol. 31. pp. 272-276.
15. Rukovodstvo po teplotekhnicheskomu kontrolyu seriinykh teplotkhodov. – Moskva: Transport, 1980. – 424 s.
16. Rukovodstvo po teplotekhnicheskomu kontrolyu seriinykh teplotkhodov. – Moskva: Transport, 1986. – 205 s.
17. Van Lammeren, W.P.A., van Manen, J.D. & Oosterveld, M.W.C. The Wageningen B-screw Series. Trans. S.N.A.M.E. 1969, 77, 269–317.
18. Vasil'eva O.YU. Obosnovanie ehkspluatatsionno-tekhnicheskikh kharakteristik gruzovykh sudov vnutrennego plavaniya na osnove kriteriya ehnergoehffektivnosti: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk: 05.22.19 / Vasil'eva Oksana Yur'evna. – Nizhnii Novgorod, 2022. - 27 s.
19. Graff W. Untersuchungen über Änderungen von Sog und Nachstrom auf beschränkter Wassertiefe in stehenden und stromendem Wasser // Schiffstechnik, Bd. 8, H.44, 1961. S. 235-242.
20. Luthra G. Untersuchung der Nachstromverteilung an einem 2-Schrauben-Binnengutermotorschiff // Versuchsanstalt für Binnenschiffbau E.V., Duisburg, Bericht Nr. 788. H.11, 1976. S. 394-400.

21. Kulczyk J., Tabaczek T. Coefficients of Propeller-hull Interaction in Propulsion System of Inland Waterway Vessels with Stern Tunnels // The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. N. 3, Vol. 8, 2014. P. 377-384.
22. Lammeren W. P. A. Resistance, Propulsion and Steering of Ships: A Manual for Designing Hull Forms, Propellers and Rudders, Band 1, H. Stam-Haarlem-Holland, 1948. P. 366.

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Платов Александр Юрьевич**, д.т.н., доцент,  
зав. кафедрой прикладной информатики и  
статистики, Нижегородский архитектурно-  
строительный университет (ФГОУ ВО  
«ННГАСУ»), 603950, Н.Новгород, ул.  
Ильинская, 65, e-mail: platoff@mail.ru

**Alexander J. Platov**, Dr. Sci. Tech, head of  
Applied Informatics and Statistic Chair, Nizhny  
Novgorod State University of Architecture and  
Civil Engineering, 603950, Nizhny Novgorod,  
Ilyinskaya st., 65

Статья поступила в редакцию 31.07.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 31.07.2023; published online 20.09.2023.

**ВОДНЫЕ ПУТИ, ПОРТЫ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ  
СООРУЖЕНИЯ**

**WATERWAYS, PORTS, AND HYDRAULIC ENGINEERING  
CONSTRUCTIONS**

УДК 627.4, 574.65

DOI: 10.37890/jwt.vi76.392

**Оценка возможности достижения гарантированных  
габаритов судового хода для создания условий развития  
речного туризма на Нижней Вятке**

**А.Н.Ситнов**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4720-8194>

**Ю.Е.Воронина**

**М.В. Шестова**

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

**Аннотация.** Установление и поддержание гарантированных габаритов судового хода на водном пути требует комплексного подхода. В первую очередь, это связано с оказываемым влиянием уровня режима водного объекта на увеличение глубины водотока с учетом возможной посадки уровня воды. Судходные условия р. Вятка в нижнем течении во многом зависят от влияния подпора Куйбышевского водохранилища. В работе обоснованы зоны подпора в границах исследуемого участка от гидропоста «Вятские Поляны» до гидропоста «Соколы Горы», проведены исследования по величине посадки уровня воды при разработке судходных прорезей. В результате выявлена возможность установления гарантированных габаритов на Нижней Вятке на участке от устья реки до 40 км, в том числе до г. Мамадыш. На участке выше 40-го км река по своим гидравлическим особенностям не обеспечивает разумной возможности установления заданных габаритов пути.

**Ключевые слова.** Гарантированные габариты пути, судходство, дноуглубительные работы, посадка уровня воды.

**The assessment of the possibility of achieving guaranteed  
dimensions of the ship's passage to create conditions for the  
development of river tourism on the Lower Vyatka**

**Aleksandr N. Sitnov**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4720-8194>

**Yulia E. Voronina**

**Marina V. Shestova**

*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** The establishment and maintenance of guaranteed dimensions of the ship's passage on the waterway requires an integrated approach. First of all, this is due to the influence of the level regime of the water body on the increase in the depth of the watercourse, taking into account the possible setting of the water level. Navigation conditions of the river Vyatka in the lower reaches largely depend on the influence of the support of the Kuibyshev reservoir. The authors substantiated the areas of support within the boundaries of the investigated area from the Vyatskiye Polyany hydraulic bridge to the Sokolyi Gory hydraulic bridge, conducted studies on the calculation of water level setting during the development of

shipping slots. As a result, it was revealed that it is possible to establish guaranteed dimensions on the Lower Vyatka in a section from the mouth of the river to 40 km, including the city of Mamadysh. In the upper section of the river, the hydraulic features of it do not provide a reasonable opportunity to establish the specified dimensions of the path.

**Keywords:** guaranteed path dimensions, shipping, dredging, water level setting

### **Введение**

В соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 декабря 2002 г. № 1800-р участок р. Вятка от пос. Подрезчиха до ее устья, протяженностью 986 км, включен в Перечень внутренних водных путей Российской Федерации федерального значения.

Однако в связи с незначительными объемами грузо- и пассажироперевозок, а также с учетом гидрологических условий на участке от г. Киров до устья р. Вятка (протяженностью 685 км) до настоящего времени внутренние водные пути содержатся без гарантированных габаритов судовых ходов с неосвещаемой навигационной обстановкой в период с 3 мая по 19 октября (170 суток). В современных условиях, в связи с прекращением производства дноуглубительных работ (с 1993 года), глубины на р. Вятка от г. Киров до устья стали естественными и составляют в период межени при низких уровнях воды (80-95% обеспеченности) от 0,4 м до 1,2 м.

В настоящее время вновь актуальным стал о вопрос о возобновлении на р. Вятка судоходства с гарантированными габаритами судового хода. По данным министерства транспорта Кировской области в восстановлении полноценной деятельности внутреннего водного транспорта заинтересованы крупные промышленные предприятия региона. В том числе, Лесным планом Кировской области на 2019 – 2028 годы предусматривается использование внутреннего водного транспорта для погрузки и перевозки древесины в судах (в том числе несамоходных). Установление гарантированных глубин судового хода позволит значительно снизить транспортные затраты на перевозку сырья и готовой продукции.

Кроме того, по мнению министерства транспорта Кировской области, проведение путевых работ на р. Вятка также позволит организовать туристические маршруты водным транспортом как внутри региона, так и между субъектами Российской Федерации, с заходом круизных маршрутов с рек Волга и Кама в населённые пункты Кировской области (города Вятские Поляны, Котельнич, Киров).

Целью выполнения данной работы являлась оценка возможности достижения необходимых гарантированных габаритов судового хода на реке Вятка от устья до г. Мамадыш (0-23 км) для безопасного прохождения круизных судов. Поскольку исследуемый участок р. Вятка находится между двумя гидрологическими постами (Сокольи горы (Соколка, устье р. Вятка) и Вятские Поляны), а также ввиду туристической привлекательности г.Вятские Поляны, дополнительно был исследован участок р. Вятка от г.Мамадыш до г.Вятские Поляны (23-102 км) и дана оценка возможности достижения на нем необходимых гарантированных габаритов судового хода для безопасного прохождения круизных судов.

### **Исследование возможности достижения гарантированных габаритов судового хода на Нижней Вятке**

Река Вятка в нижнем течении находится в зоне частичного и полного подпора Куйбышевского водохранилища. Схема исследуемого участка р. Вятка с основными гидрологическими постами приведена на рис. 1. Для обоснования зоны подпора необходимо знать положение кривых свободной поверхности воды (СПВ) на выше- и нижерасположенных участках пути относительно исследуемого участка, принятого в границах гидростов Вятские Поляны и Сокольи горы. Вышерасположенный

участок – свободная река, нижерасположенный – верхний бьеф Куйбышевского водохранилища. Кривые СПВ построены по высотным отметкам расчетных уровней: для участка на реке по отметкам проектного уровня, для участка на водохранилище – по отметкам низкого (МНУ) и высокого (НПУ) уровней.



Рис. 1. Схема расположения основных гидрологических постов на исследуемом участке р. Вятка

На участке естественного русла кривая СПВ построена по отметкам проектного уровня на ближайших вышерасположенных гидрологических постах: Аркуль (278 км судового хода) и Вятские Поляны (102 км судового хода). По данным технических отчетов Вятского района водных путей и судоходства, карты р. Вятка и материалам ранее выполненных исследований [1] уклон свободной поверхности при 95 % обеспеченности уровней на указанном участке составляет 7,6 см/км.

На участке верхнего бьефа водохранилища между г/п Чистополь и г/п Соколки горы уклон СПВ при проектных уровнях на них составляет 0,69 см/км. Выклинивание постоянного подпора приходится на 46,8 км судового хода р. Вятка, а границей временного подпора водохранилища является 80-й км судового хода р. Вятка (рис. 2).

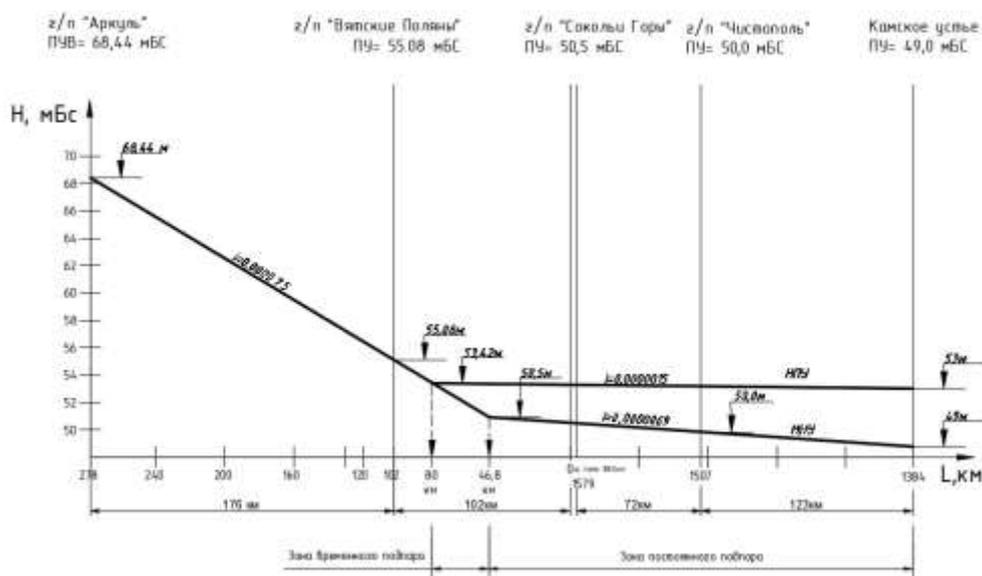


Рис. 2. Положение кривых СПВ для р. Вятка и р. Кама при расчетных уровнях воды и зоны выклинивания подпора Куйбышевского водохранилища

Подтверждением обоснованности выделенных зон подпора на Вятке служит соотношение минимальных и максимальных уровней воды по г/п Соколы горы, наблюдаемых за многолетний период (2001 – 2021 гг.) и уровней воды на устьевом участке при соблюдении гарантированной глубины. В качестве последней принята установленная в 1991 г. гарантированная глубина 1,35 м на участке длиной 62 км от устья до Гурьевки [2], а выше (до устья Кильмези – в нашем случае до Вятских Полян) – 1,2 м. В связи с поставленной целью выполняемой работы по оценке возможности достижения значительно больших гарантированных габаритов по глубине на участке для прохождения круизных судов, принята гарантированная глубина при естественных отметках дна, равная 1,35 м. Увеличенные значения гарантированной глубины могут достигаться с понижением отметок дна через дноуглубительные работы при создании судоходных прорезей на участке. Но для решения вопроса с параметрами судоходных прорезей и их влиянию на гидрологический режим реки необходим учет подпора со стороны Куйбышевского водохранилища. Построенная по абсолютным отметкам линия дна и ее верхнее положение с учетом принятой проектной глубины 1,35 м дает возможность определить зоны подпора Куйбышевского водохранилища на р. Вятка. Зона постоянного подпора определяется пересечением линии минимальных уровней воды за 21 год по г/п Соколы горы (р. Кама) и уровнем воды в географической точке по длине исследуемого участка р. Вятка с высотной отметкой дна, при которой минимальные уровни по г/п Соколы горы превышают расчетные уровни в искомой географической точке (т.е. участок до полученной точки находится в подпоре). Зона переменного подпора находится аналогично с использованием линии максимальных уровней воды за 21 год по г/п Соколы горы.

Отражение расчетных значений уровней показано на рис. 3, по которому зона подпора р. Вятка Куйбышевским водохранилищем простирается в навигацию от устья примерно до 48 км, зона временного подпора от 48 км до 80 км, а зона естественного состояния выше 80 км. В этой связи исследуемый участок Вятки от устья до г. Мамадыш и выше до 23 км в течение навигации находится в зоне постоянного подпора.

Материалы рис. 3 могут быть применены для разработки рекомендаций по эффективному использованию круизных судов разных проектов с разной осадкой по периодам навигации.

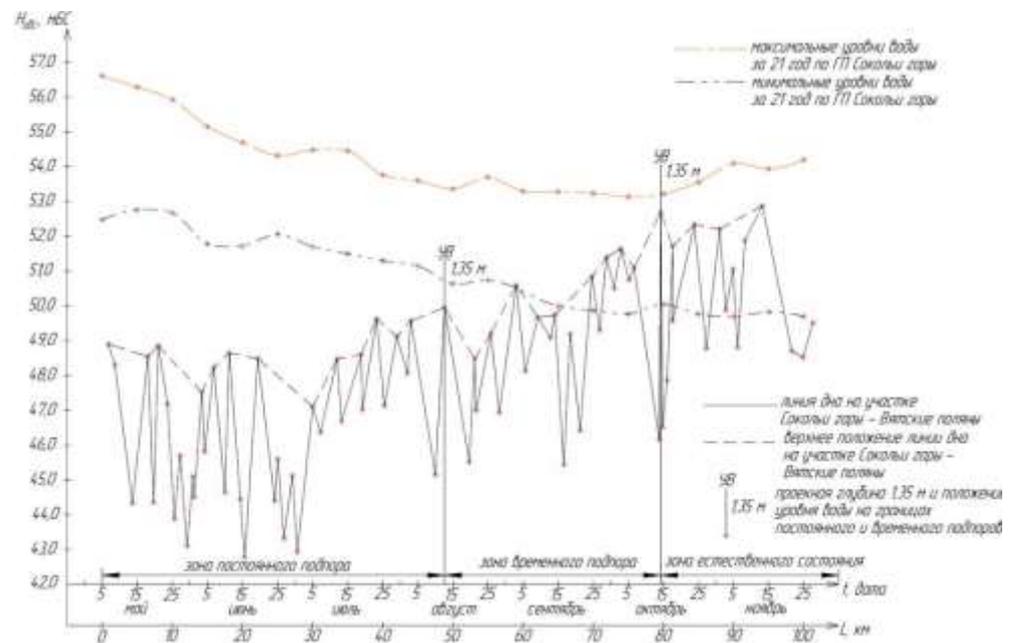


Рис. 3. Зоны подпора Куйбышевским водохранилищем р. Вятка от устья до гидропоста Вятские поляны (0 - 100 км)

Как известно, разработка выемок (дноуглубительных прорезей) в водохранилищах, а также в зонах постоянного подпора водохранилищ, практически не оказывает влияния на уровенный режим. Понижение уровней воды в районе проводимых дноуглубительных работ на подобных участках может наблюдаться локально, мгновенно (то есть непосредственно в момент дноуглубления), быстро восстанавливаясь и не распространяясь на прилегающие участки.

Иная ситуация складывается на участке, который охватывает зону переменного подпора (до 80-го км) и выше его, где река находится в свободном состоянии. Оценка уровенного режима на рассматриваемом участке р. Вятка под влиянием планируемых дноуглубительных работ при неблагоприятных условиях и сработанном Куйбышевском водохранилище показала, что зона выклинивания кривой свободной поверхности воды водохранилища будет наблюдаться в районе 46,8 км.

Для того, чтобы максимально учесть возможные негативные последствия от дноуглубительных работ, дополнительно был включен участок на 40-46 км с двумя перекатами на нем. Эти перекаты, являясь лимитирующими для судоходства, потребуют проведения дноуглубления и поскольку их расположение близко к зоне выклинивания кривой подпора Куйбышевского водохранилища, то они могут оказать влияние на уровенный режим вышерасположенного участка р. Вятка.

Оценка влияния уровенного режима на глубины пути рассмотрена в ряде работ [3,8,9, 11,12]. Кроме того, глубина на свободной реке зависит от гидравлических возможностей, определяемых достижением гидравлически допустимой глубины (ГДГ) [4,6,7], а также посадкой уровней воды при производстве дноуглубительных работ.

Произведены гидравлические расчеты возможной посадки уровня воды по разработанной во ВГАВТ программе для рассматриваемого участка (40-102 км) при устройстве дноуглубительной прорези и прохождения расчетного расхода воды

[3,9,10]. Их обобщенные результаты для семи вариантов организации дноуглубительных работ при глубине разработки от 1,2 м до 3,43 м представлены в сводной табл. 1.

Таблица 1

**Сводная таблица по результатам расчетов посадки уровня воды на исследуемом участке р. Вятка (40-102 км)**

Глубина разработки, м	Максимальная посадка уровня воды $\Delta h_{\max}$ , см	Километраж
1,2	1,60	79,9
1,35	3,30	
1,6	6,47	
1,85	11,78	89,15
2,8	57,59	98,01
3,2	84,54	101,86
3,43	96,52	

Динамика изменения величины посадки уровня воды в зависимости от глубины разработки показана на рис. 4.

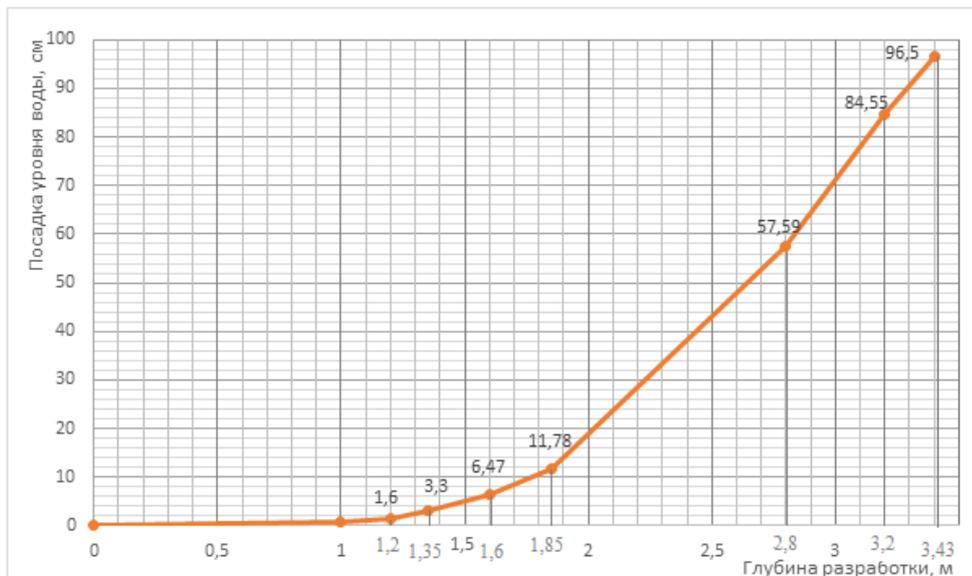


Рис. 4. Зависимость посадки уровня воды от глубины разработки на исследуемом участке р. Вятка (40-102 км)

**Результаты исследований и выводы**

Таким образом, при разработке дноуглубительных прорезей на глубину не более 1,6 м на исследуемом участке р. Вятка доля посадки уровня воды от глубины разработки не превысит 4%. При этом максимальное понижение уровня воды прогнозируется в районе 80 км.

При глубине разработки 1,85 м доля посадки уровня воды составит порядка 6,4%, а зона максимального понижения уровня воды смещается на 10 км выше по течению (в районе 89,15 км).

При глубине разработки 2,8 м и более темпы прироста величины посадки уровня воды резко увеличиваются, ее доля составляет уже более 20% от разрабатываемой

глубины. Максимальное снижение уровней воды прогнозируется в районе г/п Вятские Поляны, что свидетельствует о ее распространении на вышерасположенный участок р. Вятка.

Таким образом, применительно к участку до г. Мамадыш (0 – 23 км) имеется возможность установления и поддержания необходимых гарантированных габаритов пути, в том числе по глубине, для прохождения судов с осадкой до 2,9 м, поскольку разработка дноуглубительных прорезей практически не окажет влияния на уровенный режим реки. Проблема может заключаться в экономической нецелесообразности проведения большого объема дноуглубления. По укрупненным расчетам объем выемки грунта на участке для прохождения круизных судов с большой осадкой (пр. 302) потребует извлечения  $\approx 300$  тыс. м<sup>3</sup> грунта с затратами на путевые работы  $\approx 59$  млн. руб, что превышает объем финансирования всего Вятского РВПиС в 2022 г. в 1,5 раза.

Вышерасположенный участок, находящийся вне подпора Куйбышевского водохранилища (46,8 км – 102 км) по своим гидравлическим особенностям не обеспечивает разумной возможности установления гарантированных габаритов пути по всем рекомендованным Заказчиком вариантам. С определенным приближением к такой возможности можно рассматривать вариант с глубиной 1,6 м, но и он должен быть скорректирован в сторону увеличения до гарантированной глубины 1,71 м в связи с незначительной посадкой уровня воды. При такой гарантированной глубине из рассмотренных проектов пассажирских судов возможно их безопасное прохождение с осадкой 1,4 м (пр. 305). В дальнейшем при достижении и превышении гидравлически допустимой глубины в 2,1 м начинается резкое увеличение посадки уровня воды, связанное с разработкой прорезей на необходимую глубину и извлечением большого объема грунта из них.

Так, величина посадки уровня возрастает с 58 см при разработке судоходных прорезей на глубину 2,8 м до 84 см при глубине 3,2 м. При этом минимальная достигаемая глубина прогнозируется в районе 98-101 км судового хода в районе г. Вятские Поляны и гарантированная глубина более, чем на 20 перекатах с учетом посадки уровня воды не будет выдерживаться. Это свидетельствует о том, что разработка дноуглубительных прорезей на гарантированную глубину, превышающую 2 м, не является целесообразной ввиду значительной посадки уровня воды и, как следствие, невозможности поддержания заданных гарантированных габаритов.

Для достижения гарантированных габаритов 2,8 м и более необходимо разрабатывать судоходные прорези на глубину, выходящую за пределы расчетных значений (может быть 4 м и выше). Однако это опять же связано с большими экономическими затратами.

### **Заключение и рекомендации**

На основании полученных результатов и выводов по созданию условий развития пассажирского туризма на Нижней Вятке могут быть даны следующие рекомендации:

На современном этапе рекомендуется остановиться на возможности поддержания гарантированных габаритов пути на участке устье – г. Мамадыш и несколько выше (0 – 23 км). Следует принять решение по установлению гарантированных габаритов по глубине на этом участке в зависимости от планируемых к использованию проектов круизных судов и результатов экономических обоснований.

Участок выше 46,8 км при принятии решения об установлении гарантированных глубин на нем подготавливать поэтапно с последовательной разработкой судоходных прорезей и их углублению по годам для адаптации русла к новым условиям. Принимать решения об установлении гарантированных габаритов опять же с учетом экономической целесообразности.

### **Список литературы**

1. Технико-экономическое обоснование улучшения судоходных условий на реке вятка от Кирова до устья/ Управление внутреннего водного транспорта Росморречфлота / М., 2021 г.
2. Карта реки Вятка от города Киров до устья, изд. 1993 г. (с корректурой на 22.02.2022г.).
3. Ситнов, А.Н. Уровенный режим верхней Камы и оценка возможности установления навигационных гарантированных глубин на участке с. Бондюг – пгт. Тюлькино //Транспорт. Горизонты развития. 2022: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ» / А.Н. Ситнов, М.В. Шестова, Н.В. Кочкурова. – 2022. – URL: [http://vf-река-море.рф/2022/6\\_16.pdf](http://vf-река-море.рф/2022/6_16.pdf). и др.
4. Гришанин, К.В. Водные пути / К.В. Гришанин, В.В. Дегтярев, В.М.Селезнев. – М.: Транспорт, 1986. – 400 с.
5. Руководство по изысканиям и анализу руслового процесса на затруднительных участках свободных рек / Главное управление водных путей и гидротехнических сооружений Минречфлота РСФСР. – М.: Транспорт, 1981. – 36 с.
6. Чернышов Ф.М. Пути повышения эффективности дноуглубительных и выправительных работ на судоходных реках.// Труды гидротехники, вып. XXVIII./ Ф.М. Чернышов – Новосибирск, 1968. – С. 122–142.
7. Руководство по улучшению судоходных условий на свободных реках.// С. Петербург, 1992. – 312 с.
8. Фролов Р.Д. Отчет по НИР «Обоснование увеличения глубины судового хода р. Волга на участке Н. Новгород - Балахна» №214291. / Р.Д. Фролов. – Н. Новгород.: ВГАВТ, 2001. – 96 с.
9. Руководство по методам расчета планирования и оценки эффективности путевых работ на свободных реках.// М.: Транспорт, 1978. – 104 с.
10. Гришанин К.В. Основы динамики русловых потоков. – М.: Транспорт, 1990. 319 с.
11. Воронина, Ю.Е. Оценка проблемных участков плотовых перевозок на Верхней Каме от с. Бондюг до г.Соликамск, вызванных русловыми деформациями, и пути их устранения // Научные проблемы водного транспорта №73 (4) – 2022 / Ю.Е. Воронина Ю.Е., М.В. Молчанова. – 2022, с.243.
12. Шестова, М.В. Обоснование гидравлической возможности установления гарантированных габаритов в судового хода на участке р.Кама от с.Бондюг до пгт.. Керчевский // Научные проблемы водного транспорта №72(3) – 2022 / М.В. Шестова, М.А. Решетников. – 2022, с.240.

#### References

1. Feasibility study for improving navigation conditions on the Vyatka River from Kirov to the mouth / Inland Water Transport Department of Rosmorrechflot / M., 2021
2. Map of the Vyatka River from the city of Kirov to the mouth, ed. 1993 (with corrections as of February 22, 2022).
3. Sitnov, A.N. The level regime of the upper Kama and the assessment of the possibility of establishing navigational guaranteed depths in the area with. Bondyug - town. Tyulkino //Transport. Horizons of development. 2022: Materials of the international scientific and practical forum. FGBOU VO "VGUVT" / A.N. Sitnov, M.V. Shestova, N.V. Kochkurova. – 2022. – URL: [http://vf-river-more.rf/2022/6\\_16.pdf](http://vf-river-more.rf/2022/6_16.pdf). and etc.
4. Grishanin, K.V. Waterways / K.V. Grishanin, V.V. Degtyarev, V.M. Seleznev. - M.: Transport, 1986. - 400 p.
5. Guidance on surveys and analysis of the channel process in difficult sections of free rivers / Main Directorate of Waterways and Hydraulic Structures of the Minrichflot of the RSFSR. - M.: Transport, 1981. - 36 p.
6. Chernyshov F.M. Ways to improve the efficiency of dredging and straightening operations on navigable rivers.//Proceedings of hydraulic engineering, no. XXVIII./ F.M. Chernyshov - Novosibirsk, 1968. - S. 122-142.
7. Guidelines for improving navigation conditions on free rivers.// St. Petersburg, 1992.- 312 p.
8. Frolov R.D. Research report «Justification for increasing the depth of the navigation channel of the river. Volga on the section N. Novgorod - Balakhna "No. 214291. / R.D. Frolov. - N. Novgorod. : VGAVT, 2001. - 96 p.

9. Guide to methods for calculating planning and evaluating the effectiveness of track work on free rivers. // М.: Transport, 1978. - 104 p.
10. Grishanin K.V. Fundamentals of channel flow dynamics. – М.: Transport, 1990. 319 p.
11. Voronina Yu.E. Assessment of problematic areas of raft transportation on the Upper Kama from the village. Bondyug to Solikamsk, caused by channel deformations, and ways to eliminate them // Scientific problems of water transport No73 (4) - 2022 / Yu.E. Voronina Yu.E., M.V. Molchanov. – 2022, p.243.
12. Shestova, M.V. Substantiation of the hydraulic possibility of establishing guaranteed dimensions in the ship's passage on the section of the Kama River from the village of Bondyug to the village of Kerchevsky // Scientific problems of water transport No. 72 (3) - 2022 / M.V. Shestova, M.A. Reshetnikov. – 2022, p.240.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Ситнов Александр Николаевич** профессор, д.т.н., зав. кафедрой водных путей и гидротехнических сооружений Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: stnv1952@rambler.ru

**Aleksandr N. Sitnov**, professor, doctor of technical sciences, head of the Department of waterways and hydraulic structures, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

**Воронина Юлия Евгеньевна** доцент к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидросооружений, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: yulez@yandex.ru

**Yulia E. Voronina**, 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

**Шестова Марина Вадимовна** доцент к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидросооружений, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: shestowam@yandex.ru

**Marina V. Shestova** 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

Статья поступила в редакцию 27.06.2023; опубликована онлайн 20.09.2023.  
Received 27.06.2023; published online 20.09.2023.

## **Информация для авторов**

Требования к оформлению статей, а также примеры оформления списков литературы изложены на сайте журнала <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/rules>

### ***I. Материалы, предоставляемые автором в редакцию:***

1. Файл с текстом статьи (в формате Microsoft Word или RTF) направляется на электронный адрес [journal@vsuwt.ru](mailto:journal@vsuwt.ru) либо [raeva.oa@yandex.ru](mailto:raeva.oa@yandex.ru). Рекомендованный объем статьи – 0,5 - 1 печатных листов (8-16 страниц).
2. Экспертное заключение о возможности открытого опубликования материалов статьи (можно прислать PDF файл на электронную почту [raeva.oa@yandex.ru](mailto:raeva.oa@yandex.ru), либо направляется в бумажном виде по адресу г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, д.5, к.971).

### ***II. Основные требования к содержанию статьи:***

1. Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях. Научная статья должна содержать очевидный элемент создания нового знания в сравнении с имеющейся научной литературой по избранной теме исследования. Предпочтение отдается статьям научно-теоретического, научно-практического и аналитического характера.
2. Показатель итоговой оценки оригинальности текста в системе Антиплагиат должен быть не менее 80%, показатель заимствования не более 10%, показатель самоцитирования не более 25%

При оформлении статьи рекомендуется ориентироваться на публикации, вошедшие в Текущий выпуск.

### ***III. Перечень структурных элементов статьи***

1. УДК (из классификатора)
2. Надпись "DOI: 10.37890/jwt.vi"
3. Название статьи
4. Сведения об авторах в формате:
  - Инициалы, Фамилия (на русском языке) каждого автора, например, И.И. Иванов
  - Идентификатор автора ORCID, например, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8255-3017>
  - Перечень учреждений всех авторов без сокращений (не указывать организационно-правовую форму), место издания, например, Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия
5. Аннотация объемом 100-250 слов текста (не менее 10 строк)
6. Ключевые слова – 8-10 слов или словосочетаний
7. Название статьи на английском языке
8. Сведения об авторах на английском языке в формате:
  - Имя, О., Фамилия каждого автора (на английском языке), например, Ivan I. Ivanov
  - Идентификатор автора ORCID
  - Перечень учреждений всех авторов на английском языке, например, Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia.
9. Аннотация (Abstract) на английском языке.
10. Ключевые слова (Keywords) на английском языке.
11. Текст статьи (должен быть структурирован; рекомендуется структура IMRAD (<https://ru.wikipedia.org/wiki/IMRAD>), например:
  - Введение
  - Методы
  - Результаты
  - Обсуждение
  - Заключение
- Благодарности
12. Список литературы
13. References (литература на английском языке)
14. Информация об авторах на русском и английском языках:
  - имя, отчество, фамилия;
  - должность, звание, ученая степень, кафедра, подразделение;

- полное и сокращенное название организации, где выполняется работа, адрес;
- e-mail

15. Координаты для обратной связи (e-mail, телефон)
16. Рубрика журнала, в которую подается статья для рассмотрения

#### **IV. Оформление структурных элементов статьи**

**Общее оформление** – редакция принимает тексты, сохраненные в формате .doc, .docx, .rtf.

- Размер шрифта 12, Times New Roman;
- Интервал между строками одинарный;
- Поля: левое - 3 см, правое - 1,5 см, верхнее - 2 см, нижнее - 2 см;

**УДК** – универсальная десятичная классификация, используется для систематизации научных статей. Определяется по классификатору (можно найти в Интернете). Если статья включает несколько областей знаний, то для объединения нескольких кодов используются знаки препинания (+ (плюс) - знак присоединения, / (косая черта) - знак распространения, : (двоеточие) – знак простого отношения, :: (двойное двоеточие) - знак закрепления последовательности, [] (квадратные скобки) – знак группирования).

**DOI:** 10.37890/jwt.vi — это префикс журнала.

**Название статьи** - должно кратко (не более 10 слов) и точно отражать содержание статьи (не допускаются названия, имеющие обороты такие как «К вопросу...», «Некоторые аспекты...» и аналогичные). Оформляется полужирным шрифтом, форматируется по центру. Заглавными буквами оформлять не надо!

**Аннотация** – это краткое точное изложение содержания документа, включающее основные сведения и выводы работы. Аннотация дает возможность установить основное содержание документа, используется в информационных (автоматизированных) системах для поиска документов. Аннотация выполняет функцию инструмента, позволяющего читателю понять, следует ли обращаться к полному тексту статьи. Аннотация должна быть информативной (не содержащей общих слов), содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследования), структурированной. Структура аннотации должна полностью повторять структуру статьи. В тексте аннотации следует применять значимые слова из текста статьи.

**Ключевые слова** - должны характеризовать предметную область исследования. Во всех библиографических базах данных осуществляется поиск статей по ключевым словам. (не более 3-х слов внутри ключевой фразы). Слова и/или словосочетания отделяются запятой.

**Англоязычные переводы** (название статьи, сведения об авторах, аннотация (Abstract), ключевые слова (Keywords), литература (References)– должны быть качественными.

**Текст статьи** - должен быть структурирован, название частей необходимо выделять соответствующими подзаголовками, которые оформляются полужирным шрифтом и форматируются по центру. Разделы Введение (Постановка задачи) и Заключение (Выводы) являются обязательными. Приветствуется использование структуры IMRAD (<https://ru.wikipedia.org/wiki/IMRAD>):

1. **Введение** (актуальность) - описание проблемы, обзор литературы, связанной с исследованием, формулирование цели и задач исследования, обозначение нерешенных проблем, обоснование теоретической и практической значимости.
2. **Методы** - описание методов, условий и схем экспериментов, приборов, материалов и оборудования. указывается последовательность выполнения исследования и обосновывается выбор используемых методов (наблюдение, опрос, тестирование, эксперимент, лабораторный опыт, анализ, моделирование и т. д.).
3. **Результаты** - предоставление экспериментальных или теоретических данных, полученных в ходе исследований (могут быть представлены в виде таблиц, графиков, диаграмм, уравнений, фотографий, рисунков). Это основной раздел, цель которого – доказать рабочую гипотезу (гипотезы).
4. **Обсуждение** - интерпретация полученных результатов, предположения, сопоставление, сравнение полученных результатов с результатами других авторов и т.д.
5. **Заключение** - структурированные выводы, соответствующие постановке задачи исследования во введении, делаются обобщения и рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области. В заключительную часть статьи желательно включить попытки прогноза развития рассмотренных вопросов.
6. **Благодарности** - можно упомянуть людей, помогавших авторам подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку (например, номер гранта РФФИ). Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам.

**Таблицы** - должны быть подготовлены стандартными средствами MS Office. Надпись Таблица 1 форматируется по правому краю (размер шрифта 11, начертание - курсив). Название таблицы форматируется по центру полужирным шрифтом. На все таблицы (табл.1) должны быть ссылки в тексте

**Рисунки** - рисунки допускаются как в растровом, так и в векторном формате. Минимальное разрешение - 300 dpi. Каждое графическое изображение должно представлять собой единый, цельный объект. Подпись к рисункам приводится на русском и английском языках. Ширина подписи примерно соответствует ширине рисунка. Текстовые подписи под рисунком не должны быть частью рисунка. Рисунки (диаграммы, графики) должны допускать возможность редактирования и изменения их размеров. По возможности используйте для графического материала минимально требуемое разрешение. На все рисунки (рис.1) должны быть ссылки в тексте. Рисунки и иллюстрации вставляются в текст, а не в таблицы!

**Формулы** - все формулы набираются в редакторах Microsoft Equation 3.0, MathType 6 или Конструкторе формул Microsoft Word. Шрифт символов, входящих в формулы - комбинация Symbol и Times New Roman. Нумеруются только те формулы, на которые есть ссылка в тексте статьи. Если формула появляется в тексте как отдельная строка, она должна быть центрирована и, при необходимости, помечена сквозной нумерацией арабскими цифрами в круглых скобках. Если формула появляется внутри текста, обращайтесь внимание на размеры используемых шрифтов, чтобы они были «состыкованы» с размерами текста работы. Не сохраняйте формулы в виде рисунка и не вставляйте их в таблицы!

**Список литературы** – является обязательным элементом статьи. Ссылка на публикацию в научной статье является одним из главных показателей качества публикации, а статья с представительным списком литературы демонстрирует профессиональный кругозор и качественный уровень исследований ее авторов. Правильное описание используемых источников в списках литературы является залогом того, что цитируемая публикация будет учтена при оценке научной деятельности ее автора. По цитированию журнала определяется его научный уровень, авторитетность, эффективность деятельности ее редколлегии. Каждый научный факт должен сопровождаться отдельной ссылкой на источник. При формировании списка литературы необходимо придерживаться следующих правил:

- оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100-2018.
- источники в списке литературы нумеруются и располагаются в порядке их упоминания в тексте.
- ссылки на все источники литературы в тексте статьи обязательны;
- не менее 10 ссылок;
- приветствуются ссылки на англоязычные источники;
- на свои статьи (самоцитирование) не более 20-25% от общего числа ссылок
- ссылки на статьи периодических изданий (за последние 5 лет), опубликованные в рецензируемых научных журналах, индексируемых в РИНЦ, Scopus, WoS, должны составлять не менее 25%;
- если цитируемая статья имеет DOI, необходимо указывать его после описания цитируемой статьи. Для проверки наличия у статьи DOI можно, например, воспользоваться сервисом Crossref по ссылке <https://search.crossref.org/references>
- нежелательно включать в списки литературы анонимные источники и нормативные документы (постановления, законы, инструкции и т.д.), которые никогда не будут проиндексированы в базах данных цитирования, предпочтительно их цитировать непосредственно в тексте или во внутритекстовых сносках;
- нежелательно использовать в списках литературы авторефераты диссертаций и диссертации, учебные пособия и учебники;
- анонимные интернет-источники необходимо указывать в постраничных сносках, а не в списках литературы.

**References** - список литературы на английском языке.

Для русскоязычных статей необходимо указывать: ФИО авторов на латинице (транслитерация); название статьи (транслитерация); перевод названия статьи на английский язык; название журнала на английском языке (транслитерация, если нет информации об использовании журналом англоязычного названия); выходные данные с обозначением на английском языке (год, том, номер страницы «от-до»); указание на язык статьи, если она представлена на русском языке (In Russ.); DOI статьи (при наличии) или URL при отсутствии DOI, если есть доступ к статье.

В этом разделе должны использоваться только английские символы, наличие кириллических знаков не допускается. При ссылке на сайты, содержащие в названии русские символы, придется воспользоваться так называемым punicode-конвертором (например, <https://hb.by/punocode-converter.aspx>). С помощью подобных онлайн-сервисов имя сайта преобразуется в специальный код, который и указывается вместо русскоязычного названия. К примеру, ссылка «<http://вф-река-море.рф>» преобразуется в <http://xn-----7kcgqcbassog3b.xn--p1ai/>.

Для перевода русского текста на латиницу используются правила **British Standard Institution**. Транслитерация производится с помощью автоматического транслитератора (Формат BSI), например, <http://transliteration.pro/bsi>. (не делать транслитерацию вручную).

**Ссылка на статью в журнале**

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie stat'i [Title of the Article], Nazvanie zhurnala [Title of Journal], 2021, no. 66, pp. 120—130.

**Ссылка на книгу**

Familia I.O. Nazvanie knigi [Title of the Book]. Gorod, Izdatelstvo Publ., 2015, 450 p.

**Ссылка на переводное издание**

Familia I.O. [Original Title of the Book]. Gorod, Izdatelstvo Publ., 2015, 450 p. (in Russ.)

**Ссылка на статью в сборнике статей (I.O. Sostavitel = фамилия отв. редактора или составителя)**

Familia I.O. Nazvanie stat'i [Title of the Article\*], Nazvanie sbornika statei [Title of the Digest\*], ed. I.O. Sostavitel. Gorod, Izdatelstvo Publ., 2015, pp. 10—15.

**Ссылка на статью в электронном журнале**

Familia I.O. Nazvanie stat'i [Title of the Article\*], Nazvanie zhurnala [Title of Journal], 2015, no.5. Available at: <http://observatoria.rsl.ru/ru/s3/s17/s364/ok12015/> (accessed 01.12.2015)

**Информация об авторах на русском и английском языках** – оформляется в конце работы в виде таблицы (в качестве образца можно использовать статьи, опубликованные с 2020 года (№62))

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Митрошин Сергей Григорьевич**, к.т.н., доцент, доцент кафедры экономики и менеджмента, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [priemnaya@vgavt-nn.ru](mailto:priemnaya@vgavt-nn.ru)

**Sergey G. Mitroshin**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Economics and Management, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: [priemnaya@vgavt-nn.ru](mailto:priemnaya@vgavt-nn.ru)

**Раева Ольга Александровна**, начальник издательского отдела, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [raeva@vsawt.com](mailto:raeva@vsawt.com)

**Olga A. Raeva**, Head of Publishing Department, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: [raeva@vsawt.com](mailto:raeva@vsawt.com)

**Редакция не рассматривает к публикации статьи, оформление которых не соответствует всем необходимым требованиям.**

**Научные проблемы  
водного транспорта**

**Russian Journal of Water  
Transport**

**№76(3), 2023**

Формат бумаги 70x180 1/16. Бумага офсетная.  
Ризография. Усл. печ. л. 16,06. Уч.-изд. л. 22,49.  
Заказ 113. Тираж 500.

Федеральное агентство морского и речного транспорта.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)

Отпечатано в типографии издательско-полиграфического комплекса ФГБОУ ВО «ВГУВТ». Адрес 603951, Российская Федерация, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.