



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

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

Научные проблемы водного транспорта

№83 (2) 2025

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: 603950, 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 (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;

Кочнев Юрий Александрович, д.т.н., доцент, 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;

Сичкарев Виктор Иванович д.т.н., профессор, профессор кафедры Судовождения, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»)

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 №83 (2) 2025

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: 603950, 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 (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;

Yuri A. Kochnev, Dr. Sci. (Tech.), assistant 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.), assistant professor, 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;

Viktor I. Sichkarev Doctor of Technical Sciences, Professor of Navigation Department, Siberian State University of Water Transport,

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.

СОДЕРЖАНИЕ

Судостроение, судоремонт и экологическая безопасность судна

С.П. Астреин, С.Н. Гирин, А.С. Гусев, Е.Ю. Чебан

Оценка некоторых гидродинамических характеристик подводного крыла вблизи свободной поверхности с помощью «Ansys Fluent»..... 13

П.А. Бимбереков, М.Д. Васильев

Исследование влияния заострения оконечностей на погрешность определения водоизмещения методом драфт-сюрвея при общих продольных деформациях корпуса судна 24

Ю.П. Буров, Ю.А. Кочнев

Исследование математической модели оптимизации характеристик контейнерного судна 34

К.И. Колосова, А.В. Лобанов, С.В. Вербицкий

Роль и место научных и проектных организаций судостроительной отрасли в научном сопровождении проектов освоения морских месторождений 43

А.Г. Назаров

Проектирование обитаемых пространств малых пассажирских и прогулочных судов 59

Судовое энергетическое оборудование

А.В. Ивановская, А.А. Халявкин, А.В. Борозняк, В.В. Шаповал

Комплексный подход к оценке влияния стохастических факторов на процессы износа подшипников траловых лебедок 75

В.Л. Конюков, А.Н. Горбенко

Характеристики рабочего колеса турбомшины с радиальными лопатками симметричного профиля в режиме компрессора 86

О.П. Шураев, В.А. Чернов, А.Г. Чичурин

Модель теплообмена в стенде термического обезвреживания нефтесодержащих вод 95

Экономика, логистика и менеджмент на транспорте

В. М. Бунеев, Г. Ж. Игликова

Организация завоза нефтепродуктов в пункты арктического побережья Якутии..... 106

О.И. Карташова, А.О. Ничипорук

Обоснование оптимального варианта инфраструктурного обеспечения воднотранспортного терминала 115

И.К. Кузьмичев, В.В. Крайнова

Обеспечение качества транспортного образования: современные вызовы и перспективы 124

И.К. Кузьмичев, С.С. Чеботарев, И.В. Бондарь

Эволюция логистических узлов на внутренних водных путях: от транзитных точек к интеллектуальным транспортным центрам..... 138

<i>А.А. Подхлебный, Ж.К. Кегенбеков, Э. Ш. Еменова</i>	
Железнодорожные транспортные коридоры как альтернатива и дополнение водным маршрутам в международной логистике	154
<i>М.В. Фирсов, А.С. Степанова, А.А. Крит</i>	
Анализ и проектирование бизнес-процессов блокчейн в логистических компаниях	164
<i>В.С. Чеботарев, П.Н. Пешехонов, Ж.Ю. Пыжова, А.В. Дорожкин</i>	
Контейнерные перевозки, новый шаг во взаимодействии морских и железнодорожных перевозок в условиях современной России	180
 <i>Эксплуатация водного транспорта, водные пути, сообщения и гидрография</i>	
<i>Д.И. Авдонин, А.А. Лисин</i>	
Моделирование работы барже-буксирных составов на регулярной речной контейнерной линии	191
<i>С.С. Герасимов</i>	
Выбор модели турбулентности при математическом моделировании работы гребного винта	205
<i>С.В. Ермаков, П.А. Моисеев</i>	
Концептуальные основы математической формализации усталости судоводителей	212
<i>В.И. Тихонов, Ю.В. Бажанкин, И.М. Осокин, В.А. Лобанов</i>	
Математическое моделирование процесса перевода судна с поворота заданного радиуса на прямолинейную траекторию	224

CONTENTS

Shipbuilding, ship repair and ecological safety of the ship

- Sergey P. Astrein, Stanislav N. Girin, Alexander S. Gusev, Ehor Yu. Cheban***
Estimation of some hydrofoil's hydrodynamic characteristics near free surface
using «Ansys Fluent» 13
- Pavel A. Bimberekov, Mihail D. Vasilev***
Investigation of the effect of pointed extremities on the error in determining displacement by
the draft survey method for general longitudinal deformations of the ship's hull..... 24
- Yuri P. Burov, Yuri A. Kochnev***
Investigation of a mathematical model for optimizing the characteristics
of a container ship..... 34
- Karina I. Kolosova, Alexey V. Lobanov, Sergey V. Verbitsky***
The role and place of scientific and design organizations of the shipbuilding industry in the
scientific support of offshore field development projects..... 43
- Albert G. Nazarov***
Design of habitable spaces on small passenger and recreational craft 59

Ship power equipment

- Aleksandra V. Ivanovskaya, Alexey A. Khalyavkin, Alexander V. Boroznyak,
Vitaly V. Shapoval***
An integrated approach to assessing the impact of stochastic factors on the wear processes
of trawl winch bearings 75
- Viacheslav L. Konyukov, Alexander N. Gorbenko***
Characteristics of a turbomachine impeller with radial blades of symmetrical
profile in compressor mode 86
- Oleg P. Shurayev, Vladimir A. Chernov, Alexander G. Chichurin***
Model of heat exchange in the stand of thermal neutralization
of oil-containing waters 95

Economics, logistics and transport management

- Viktor M. Buneev, Gulmira Z. Iglkova***
Organizing the delivery of oil products to points of the arctic coast of Yakutia..... 106
- Olga I. Kartashova, Andrey O. Nichiporuk***
Justification of the best option for infrastructure support of the water
transport terminal..... 115
- Igor K. Kuzmichev, Vera V. Krainova***
Ensuring the quality of transport education: modern challenges and prospects 124
- Igor K. Kuzmichev, Stanislav S. Chebotarev, Ilya V. Bondar***
Evolution of logistics hubs on inland waterways: from transit points to intelligent transport
centers..... 138
- Andrey A. Podkhlebnyy, Zhandos K. Kegenbekov, Elina S. Emenova***
Railway transport corridors as an alternative and complement to water
routes in international logistics 154

<i>Michail V. Firsov, Alla S. Stepanova, Andrey A. Krit</i> Analysis and design of blockchain business processes in logistics companies.....	164
<i>Vladislav S. Chebotarev, Pavel N. Peshekhonov, Zhanna Y. Pyzhova, Artyom V. Dorozhkin</i> Container transportation is a new step in the interaction of sea and rail transportation in modern Russia	180
<i>Water transport operation, waterways communicatons and hydrography</i>	
<i>Dmitry I. Avdonin, Alexander A. Lisin</i> Simulation of multi-barge tow operating on a river regular container line.....	191
<i>Sergey S. Gerasimov</i> Selection of a turbulence model in mathematical modeling of propeller operation.....	105
<i>Sergey V. Ermakov, Pavel A. Moiseev</i> Conceptual basis for the mathematical formalization of navigator fatigue.....	212
<i>Vadim I. Tikhonov, Yuriy V. Bazhankin, Igor M. Osokin, Vasily A. Lobanov</i> Mathematical modelling of the ship transfer from a turn of a given radius to a straight line	224

**СУДОСТРОЕНИЕ, СУДОРЕМОНТ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ СУДНА**

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

УДК 629.122

DOI:10.37890/jwt.vi83.588

**Оценка некоторых гидродинамических характеристик
подводного крыла вблизи свободной поверхности с помощью
«Ansys Fluent»**

С.П. Астреин

ORCID: 0009-0007-9369-2921

С.Н. Гирин

ORCID: 0009-0001-3741-8502

А.С. Гусев

ORCID: 0009-0004-2952-0672

Е.Ю. Чебан

ORCID: 0000-0001-0983-9879

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

Аннотация. В настоящей статье рассматриваются несколько задач по определению гидродинамических характеристик подводного крыла в программном комплексе ANSYS Fluent при различных заглублениях крыла. Целью выполненных исследований является учет особенностей применения указанного комплекса для решения задач обтекания различных тел жидкостью. Верификация результатов численных экспериментов осуществляется путем сопоставления с известными экспериментальными данными, полученными различными авторами. В отечественной литературе опубликованы результаты испытаний крыла при различных заглублениях и углах атаки, выполненные в 60-х годах прошлого века. В настоящей статье показано, что максимальное расхождение в величинах коэффициента подъемной силы, численного и модельного экспериментов, не превышает 10%. В зарубежной литературе опубликованы экспериментальные результаты определения коэффициентов подъемной силы и сопротивления крыла, выполненные сравнительно недавно с использованием современной аппаратуры. Численные эксперименты, выполненные авторами настоящей статьи, показали, что в данном случае расхождение в результатах не превышает 4%. На основании полученных результатов делается вывод о возможности использования указанного комплекса для решения ряда задач, связанных с проектированием крыльевых систем.

Ключевые слова: Катамаран, катамаран с подводными крыльями, подводные крылья, судно на подводных крыльях, крыльевые системы, буксировочные испытания, подъемная сила, сила сопротивления, эксперимент, свободная поверхность.

**Estimation of some hydrofoil's hydrodynamic characteristics near
free surface using «Ansys Fluent»**

Sergey P. Astrein

ORCID: 0009-0007-9369-2921

Stanislav N. Girin

ORCID:0009-0001-3741-8502

Alexander S. Gusev

ORCID: 0009-0004-2952-0672

Ehor Yu. Cheban

ORCID:0000-0001-0983-9879

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. In this paper several tasks of hydrofoil's hydrodynamic characteristics determination at the various depths using the ANSYS Fluent are considered. The purpose of this studies was consideration of the feature this software for solving some issues hydrodynamics interaction between hydrofoil and free surface. The results of numerical experiments were vitrified by comparison with experimental data obtained by different authors. For comparison, the results of hydrofoil tests at various depths and angles of attack published in various scientific sources were used, including those of Egorov and Sokolov conducted in the 60s of the last centuries. The present paper shows that the maximum discrepancy in the values of the lift coefficient of numerical and model experiments does not exceed 10%. In the experiment of Zao Ni and Manhar Dhanak, modern equipment was used for model tests, which were compared with the results of numerical simulation. When comparing the results, a discrepancy of 4% was obtained, which is a good indicator. The results obtained in this work allow us to draw a conclusion about the possibility of using AnsisFluent 2020 to solve tasks related to the design of wing systems.

Keywords: Catamaran, hydrofoil assisted catamaran, hydrofoils, hydrofoil vessel, foil systems, towing tests, lifting force, drag force, experiment, free surface.

Введение

При проектировании катамаранов на подводных крыльях, у которых последние расположены между корпусами, возникает задача определения усилий, действующих на крылья. Очевидно, что эта задача существенно отличается от исследованных ранее задач для судов на подводных крыльях с традиционной крыльевой схемой. Существующие в настоящее время программные комплексы, в принципе, позволяют решить поставленную задачу, однако точность решения зависит от ряда факторов, которые необходимо учитывать при численном моделировании. Кроме того, коммерческие программы постоянно совершенствуются и изменяются, что также может привести к изменению результатов моделирования.

Одним из наиболее распространённых программных продуктов для моделирования гидро- и аэродинамики крыльев является ANSYS Fluent. Так, в статье [1] с помощью ANSYS Fluent исследовалась гидродинамика трехмерного подводного крыла NACA 0012. При моделировании использовалась k- ω модель турбулентности и несколько вариантов сеток. Сравнение результатов моделирования с экспериментом показало хорошую сходимость. В работе Maria Margareta и Zau Beu [2] с помощью ANSYS Fluent моделировалось двумерное обтекание подводного крыла при различных углах атаки, в том числе с отрывными течениями для чисел $Re > 10^6$. В работе использовалась k-epsilon (ϵ) модель турбулентности. В результате работы получены расхождения между экспериментальными данными и ANSYS Fluent при углах атаки более 10 градусов, причины этих расхождений авторами не проанализированы. В работе [3] также с помощью ANSYS Fluent получены распределения давлений для профилей NACA0012, NACA0015, NACA2412, NACA2414, NACA2415, NACA 4412, и E387 при различных углах атаки. Возможность использования данной программы на основе верификации результатов моделирования и испытаний в опытовых бассейнах и аэродинамических трубах показана в различных работах по исследованию гидро- и аэродинамики крыльев [4].

В то же время значительная часть вопросов в области определения гидродинамических характеристик подводных крыльев численными методами остается неисследованной. Поэтому в настоящей статье рассматривается задача определения коэффициента подъемной силы крыла, движущегося в невозмущенной жидкости вблизи свободной поверхности, решаемая с помощью программного комплекса ANSYS Fluent. Полученные решения сравниваются с результатами экспериментов, приведенных в монографии [5] и работах [7]

В соответствии с [5], [6] влияние свободной поверхности на величину подъемной силы начинает проявляться при заглублении менее двух хорд, поэтому исследования в настоящей работе проводятся при относительных заглублениях в диапазоне от 1,5 до 0,25 долей хорды крыла.

Для решения такой задачи принято крыло с относительным удлинением равным 10 хордам, размер хорды составил 0,1 метра, а толщина профиля - 6% хорды. Максимальная толщина профиля расположена на расстоянии равном 40% хорды от носика профиля.

Кроме заглубления в ходе исследования изменялся и угол атаки крыла. В процессе решения задачи определялись зависимости коэффициента подъемной силы от углов атаки крыла в диапазоне от -2° до 6° при различных погружениях (рис. 1) в соответствии с [5].

При проектировании крыльевых систем кроме подъемной силы крыла необходимо определение гидродинамического качества крыла, что требует знания силы сопротивления, но, к сожалению, в работе [5] не приводятся результаты эксперимента по определению сопротивления.

Более подробная информация о силах, действующих на крыло, представлена в работе [8], однако, в ней исследуются характеристики крыла при одном относительном погружении 1,0 (рис.2).

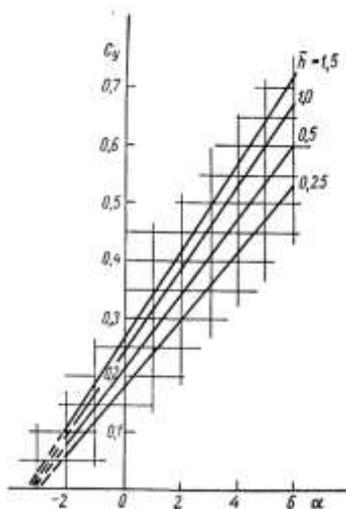


Рис. 1. График зависимости коэффициента подъемной силы крыла от угла атаки (И.Т. Егоров и В.Т. Соколов [5])

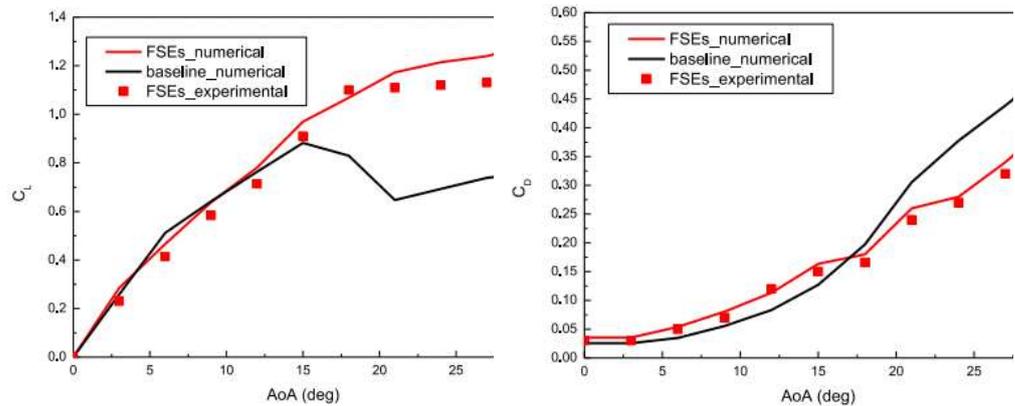


Рис. 2. Графики зависимостей коэффициентов подъемной силы и силы сопротивления при относительном погружении 1,0 по исследованию зарубежных авторов [7] (красные квадраты на графике)

Численное моделирование обтекания крыла по И.Т. Егорову и В.Т. Соколову

Для численного моделирования была подготовлена 3d-модель крыла (рис.3) в модуле ANSYS SpaceClaim в соответствии с исходными данными, приведенными в монографии [5] (табл. 1).

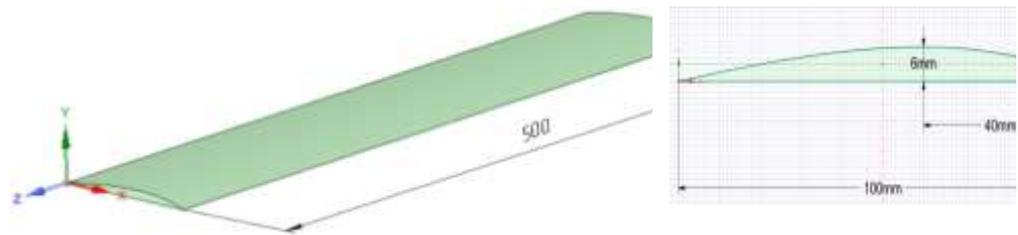


Рис. 3. Исследуемая модель крыла

Таблица 1

Исходные данные эксперимента [1]

Наименование	Обозначение	Величина	Размерность
Размах крыла	l	1	м
Хорда крыла	b	0,1	м
Относительная толщина профиля	t/b	6	%
Положение максимальной толщины от носика профиля	a/b	40	%
Тип профиля		Плоско-выпуклый	
Скорость движения	v	3,97	м/с
Относительное заглубление крыла	h/b	1,5;1,0;0,5;0,25	-
Угол атаки крыла	α	-2;0;2;4;6	град.

Ввиду симметрии крыла, для уменьшения затрат машинного времени достаточно использовать только половину крыла, с установкой соответствующего граничного условия симметрии.

В работе [5] отсутствует информация по расположению крыла и размерам бассейна, в котором проводились эксперименты, поэтому ширина расчетной области определяется, исходя из предположения авторов данной статьи о закреплении крыла

по его торцам в бассейне. Использовалась расчетная область в виде параллелепипеда с размерами, рекомендованными в работах [7], [8], [9] в долях от хорды:

- 1) перед крылом - 5 хорд;
- 2) за крылом - 10 хорд;
- 3) над крылом - 5 хорд;
- 4) под крылом - 10 хорд;

Граничные условия домена показаны на рис. 4 и 5.

Для построения расчетной сетки (рис. 6), использовался модуль ANSYS Mechanical. Для получения точных значений гидродинамических характеристик крыла было выполнено измельчение сетки в районе носовой и кормовой кромок, а также вблизи свободной поверхности. Задача решалась с учетом модели турбулентности $k - \omega - SST$ при величине $y^+=1$, выбранной по рекомендациям [7], [8] и [9], а также с учетом границы раздела сред вода-воздух с использованием VoF-модели.

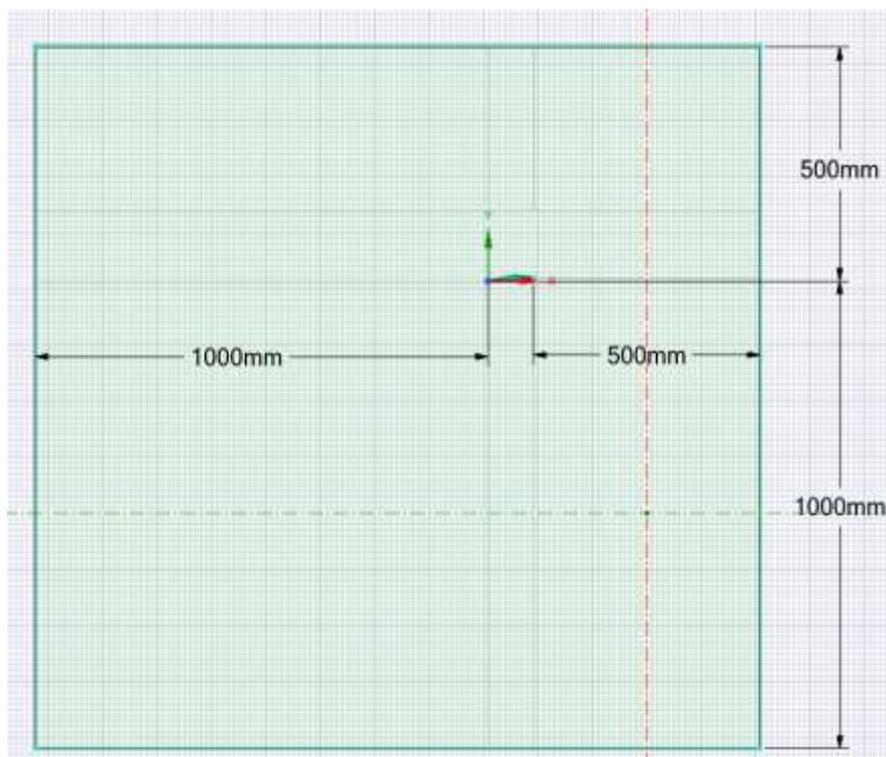


Рис. 4. Размеры расчетной области

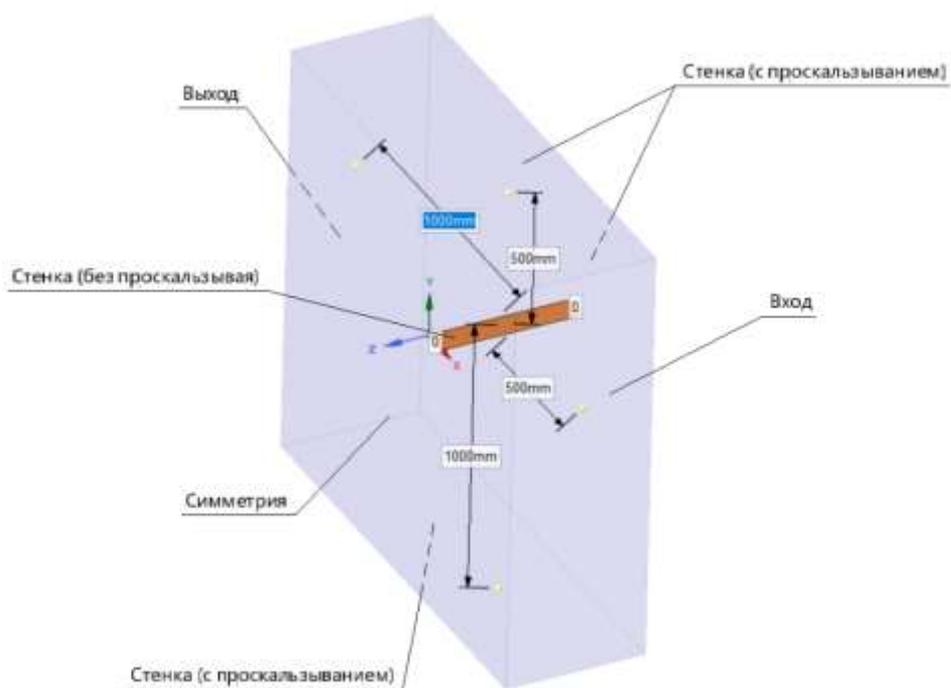


Рис. 5. Расчетная область и граничные условия

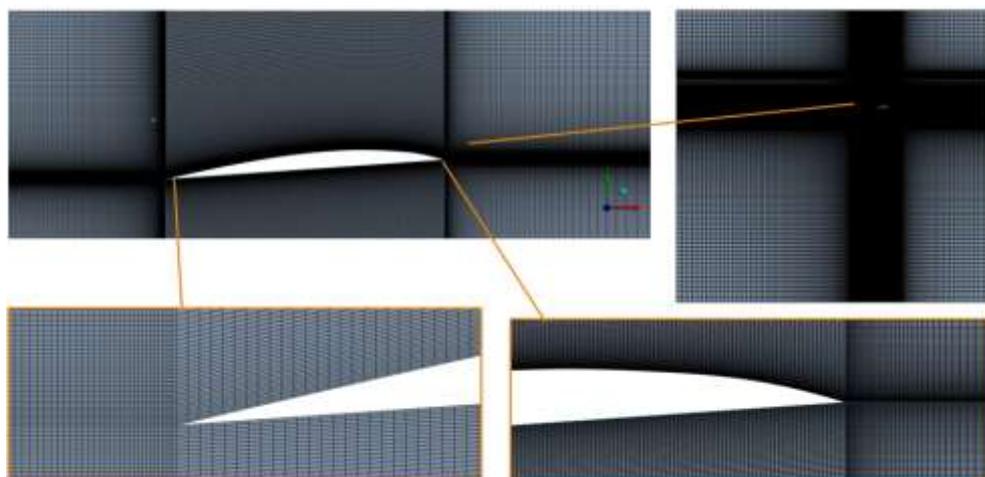


Рис. 6. Расчетная сетка

Таблица 2

Параметры расчетной сетки		
Наименование	Значение	Размерность
Начальная сетка	100	мм
Сетка на поверхности крыла	0,4	мм
Размер сетки в районе носовой и кормовой кромок	1	мм
Фактор сгущения сетки от начальной до адаптационной	1,3	-
Общее число ячеек	≈110 тыс.	шт

В результате численного моделирования были получены формы свободной поверхности жидкости и линии тока скоростей, проиллюстрированные на рис.7, а также значения коэффициентов подъемной силы, графики которых в виде зависимостей коэффициента подъемной силы от углов атаки, показаны на рис. 8.

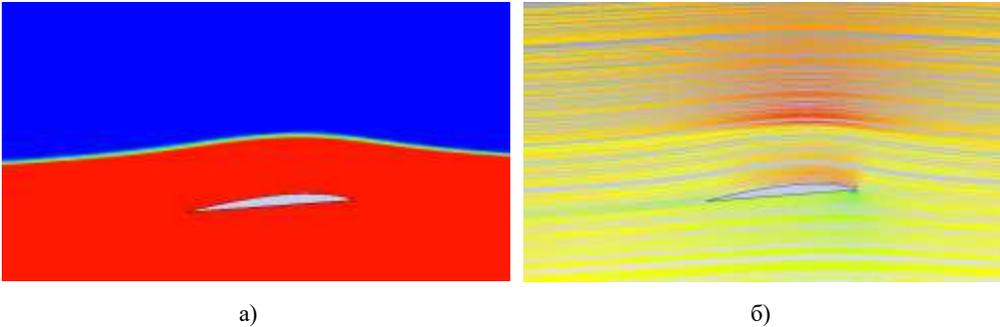


Рис. 7. а) свободная поверхность при $h'=0,25$; б) линии тока скоростей при $h'=0,25$;

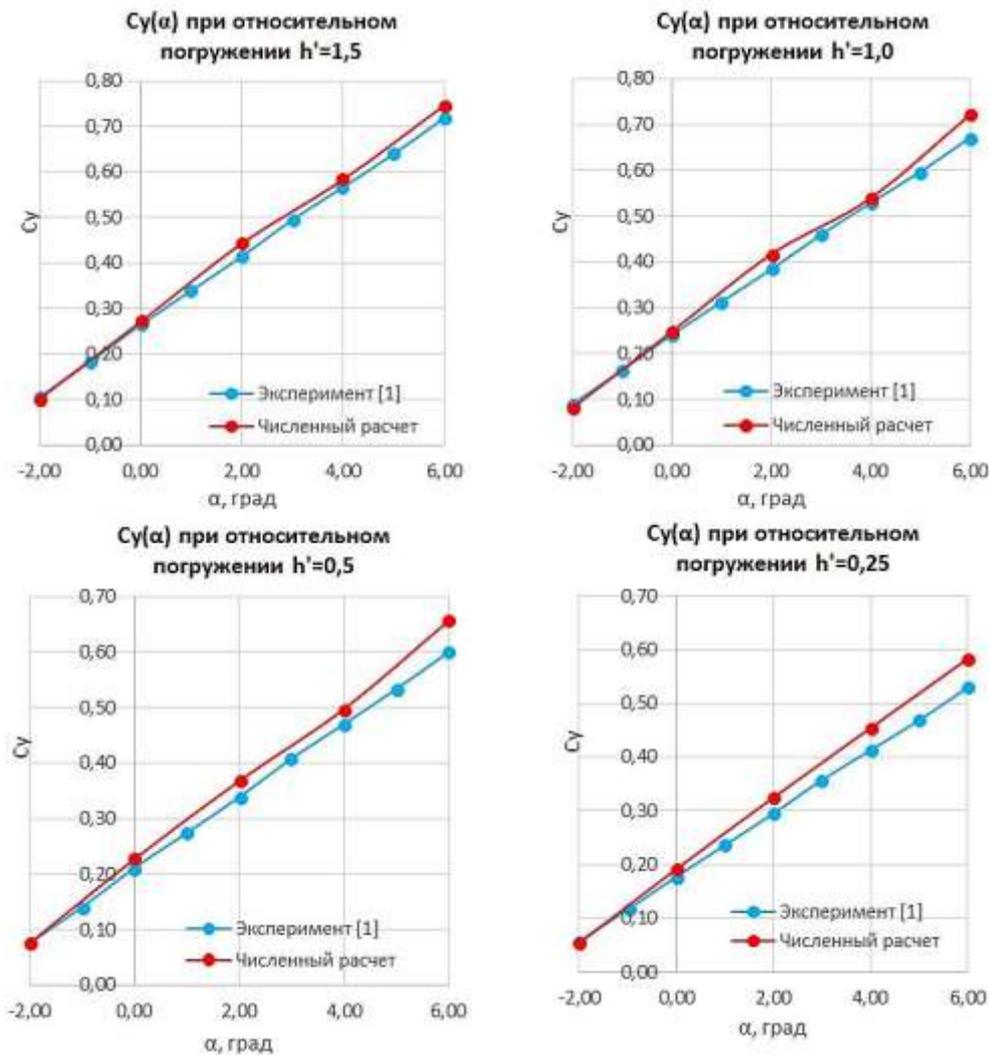


Рис. 8. Сравнение численного расчета крыла с экспериментом [1] при разных погружениях

Численным методом подтверждено существенное влияние свободной поверхности на подъёмную силу при малых заглублениях. В результате исследования наблюдается уменьшение коэффициента подъемной силы при приближении к свободной поверхности, что соответствует данным монографии [5].

Численное моделирование обтекания крыла с профилем NACA 634-021

Верификация результатов численного моделирования проводилась на основании работы [7] для двояковыпуклого профиля NACA 634-021 с хордой $b=100$ мм при установившейся скорости движения $v=1,4$ м/с. Данная задача решается аналогично рассмотренной выше, однако для сопоставления с [7] рассматривается её плоская постановка.

Исследования [7] проводились при углах атаки (рис.2) диапазоне от 0° до 30° , однако в судостроении редко встречаются углы более 10° , поэтому моделирование было ограничено углами атаки 3° ; 6° ; 9° . Кроме того, необходимо отметить большие расхождения с экспериментом при углах атаки более 15 градусов, что позволяет предположить отсутствие учета отрывных течений и интенсивного вихреобразования в работе [7].

Определенной проблемой при получении коэффициентов сопротивления крыла является отсутствие в [7] данных по шероховатости. Достижение сходимости коэффициента сопротивления получено с помощью функции Nasa Correlation, имеющейся в ANSYS Fluent.

В результате решения задачи получены картины обтекания двояковыпуклого профиля и положения свободной поверхности (рис. 9-10), полученные коэффициенты представлены на рис. 11.

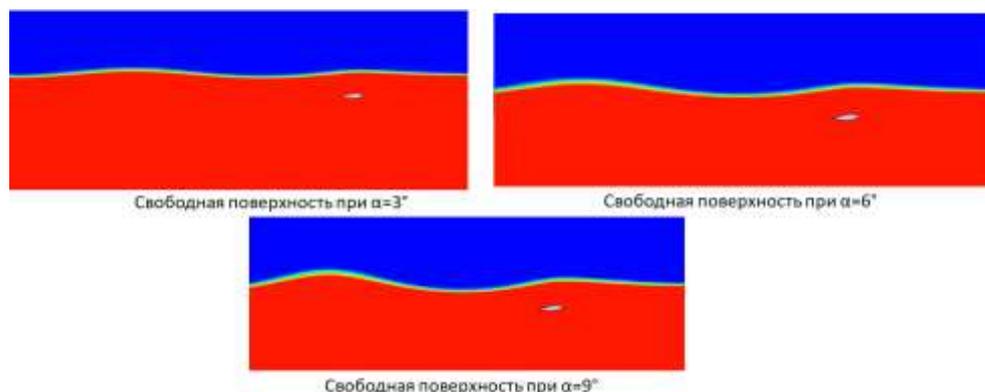


Рис. 9. Свободная поверхность при различных углах атаки

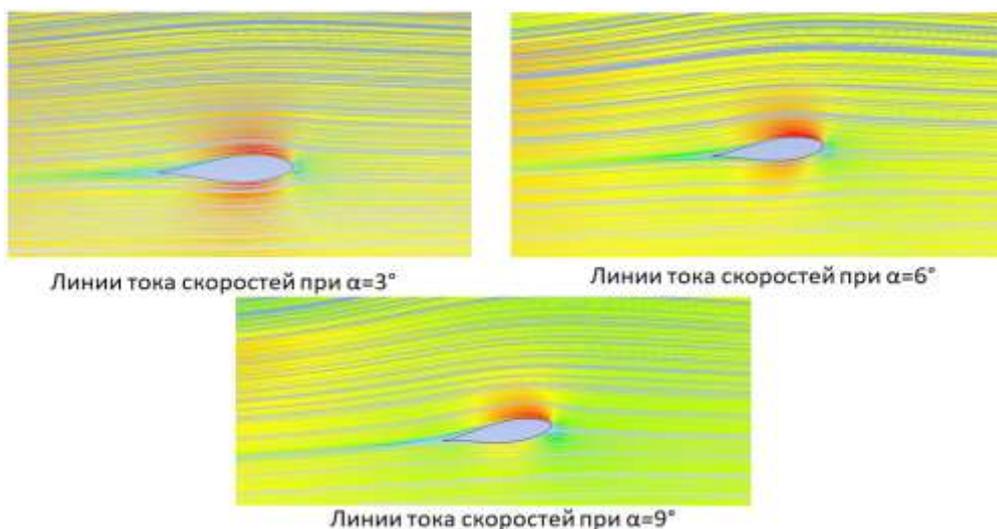


Рис. 10. Картина обтекания профиля крыла

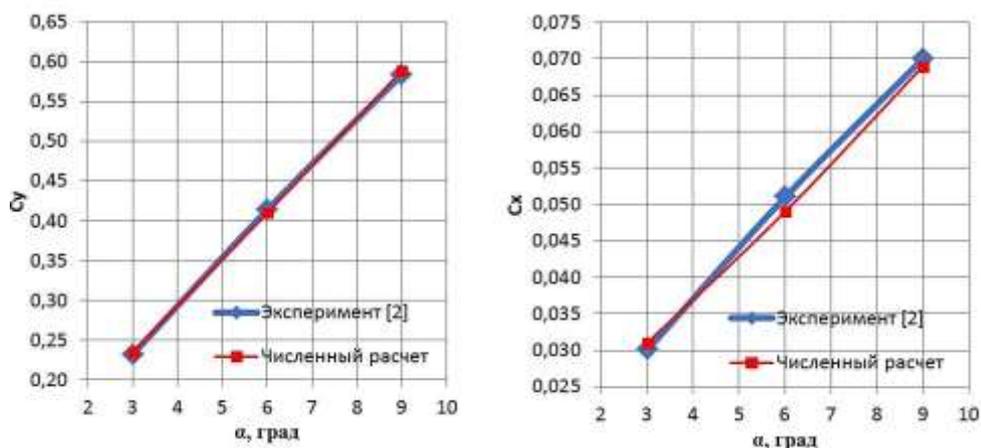


Рис. 11. Коэффициент подъемной силы и силы сопротивления в зависимости от угла атаки при относительном погружении 1,0

Заключение

В настоящей работе с помощью программного комплекса ANSYS Fluent выполнены исследования подъемной силы и силы сопротивления подводных крыльев. Для оценки адекватности полученных решений, результаты сравниваются с известными аналогичными решениями.

В работе [5] приведены результаты испытаний крыла при различных заглоблениях, при этом приведены значения коэффициента подъемной силы при различных углах атаки. Сравнение результатов эксперимента с расчетами, выполненными авторами, представлено на рис. 8, который показывает, что максимальное расхождение находится в пределах 10%. Величина расхождения может быть объяснена погрешностью эксперимента, выполненного в 60-х годах прошлого века и отсутствием существенной части информации об этих экспериментах в опубликованных работах.

В эксперименте [7] используется современное оборудование для получения данных с модели, которые также сопоставимы с результатами численного расчета.

При анализе результатов в этом случае получено расхождение в 4%, что является хорошим показателем.

На основании проведенного исследования можно сделать вывод о том, что с помощью ПК ANSYS Fluent возможно получить достаточно точные гидродинамические характеристики крыла вблизи свободной поверхности, а также возможно использовать в дальнейшем этот комплекс для исследования крыльевой системы катамаранов на подводных крыльях.

Список литературы

1. Saadia Adjali, Omar Imine, Mohammed Aounallah, Mustapha Belkadi Numerical Simulation of Free Surface Water Wave for the Flow around NACA 0012 Hydrofoil and Wigley Hull Using VOF Method World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering Vol:9, No:5, 2015 p.884-888
2. Maria Margareta, Zau Beu Computational Fluid Dynamic for Performance Hydrofoil due to Angle of Attack Journal of Earth and Marine Technology (JEMT), 1(1), 12-19/ ISSN 2723-8105 DOI: 10.31284/j.jemt.2020.v1i1.1146
3. Puteri Nurfarah, Adawiyah Taslina, Aliashim Albania, Mohd Zamri Ibrahima, Mohd Azlan Musaa, Zulkifli Mohd Yusopa & Mohd Afifi Jusoha Computational Fluid Dynamics Analysis of Seven Selected Hydrofoils for Different Angle of Attack. Jurnal Kejuruteraan SI 4(1) 2021: 71-75 [https://doi.org/10.17576/jkukm-2021-si4\(1\)-09](https://doi.org/10.17576/jkukm-2021-si4(1)-09)
4. Чебан, Е.Ю. Численное моделирование испытаний составного крыла экраноплана в аэродинамической трубе / Е. Ю. Чебан, А. Н. Лучков // Научные проблемы водного транспорта. – 2023. – № 75. – С. 108-117. – DOI 10.37890/jwt.vi75.358. – EDN MCXUOT.
5. Егоров И.Т., Соколов В.Т.. Гидродинамика быстроходных судов. Л.: Судостроение. – 1971. – 424 с.
6. Иконников В.В., Маскалик А.И. Особенности проектирования и конструкции судов на подводных крыльях. – Л. Судостроение, 1987. – 320 с.
7. Zao Ni, Manhar Dhanak, Tsung-chow Su. Performance of a hydrofoil operating close to a free surface over a range of angles of attack. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering 13. p.1-11, 2021.
8. Nan Xie, Dracos Vassalos. Performance analysis of 3D hydrofoil under free surface\ Ocean Engineering 34 (2007) p 1257-1264. 2006.
9. Миньков Л.Л., Моисеева К.М. Численное решение задач гидродинамики с помощью вычислительного пакета Ansys Fluent: учеб пособие. – Томск: STT, 2017. – 122 с.

References

1. Saadia Adjali, Omar Imine, Mohammed Aounallah, Mustapha Belkadi Numerical Simulation of Free Surface Water Wave for the Flow around NACA 0012 Hydrofoil and Wigley Hull Using VOF Method World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering Vol:9, No:5, 2015 p.884-888
2. Maria Margareta, Zau Beu Computational Fluid Dynamic for Performance Hydrofoil due to Angle of Attack Journal of Earth and Marine Technology (JEMT), 1(1), 12-19/ ISSN 2723-8105 DOI: 10.31284/j.jemt.2020.v1i1.1146
3. Puteri Nurfarah, Adawiyah Taslina, Aliashim Albania, Mohd Zamri Ibrahima, Mohd Azlan Musaa, Zulkifli Mohd Yusopa & Mohd Afifi Jusoha Computational Fluid Dynamics Analysis of Seven Selected Hydrofoils for Different Angle of Attack. Jurnal Kejuruteraan SI 4(1) 2021: 71-75 [https://doi.org/10.17576/jkukm-2021-si4\(1\)-09](https://doi.org/10.17576/jkukm-2021-si4(1)-09)
4. Cheban, E.Yu. Chislennoe modelirovanie ispytanij sostavnogo kryla ekranoplana v aerodinamicheskoy trube / E. Yu. Cheban, A. N. Luchkov // Nauchnye problemy vodnogo transporta. – 2023. – № 75. – S. 108-117. – DOI 10.37890/jwt.vi75.358. – EDN MCXUOT.
5. I.T. Egorov, V.T. Sokolov. Gidrodinamika bystrokhodnykh sudov. L.: Sudostroenie, 1971, 424 s.

6. Ikonnikov V,V., Maskalik A.I. Osobennosti proektirovaniya i konstruksii sudov na podvodnykh kryl'yakh. – L. Sudostroenie, 1987-s.320
7. ZaoNi, Manhar Dhanak, Tsung-chow Su. Perfomance of a hydrofoil operating close to a free surface over a range of angles of attack. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering 13. p.1-11, 2021.
8. Nan Xie, Dracos Vassalos. Perfomance analysis of 3D hydrofoil under free surface\ Ocean Engineering 34 (2007) p 1257-1264. 2006.
9. Min'kov L.L., Moiseeva K.M. Chislennoe reshenie zadach gidrodinamiki s pomoshch'yu vychislitel'nogo paketa Ansys Fluent: ucheb posobie. – Tomsk: STT, 2017 -122с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

Астрейн Сергей Павлович, аспирант кафедры «Теории конструирования инженерных сооружения», Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: theolklim260177@yandex.ru

Sergey P. Astrein, graduate student of the Department of «Theory of engineering structures design», Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: : theolklim260177@yandex.ru

Гирин Станислав Николаевич, к.т.н., профессор кафедры «Теории конструирования инженерных сооружения», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: girin.sn@vsuwt.ru

Stanislav N. Girin, Ph.D. in Engineering Science, Professor of the Department of «Theory of engineering structures design», Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603950, e-mail: girin.sn@vsuwt.ru

Гусев Александр Сергеевич, аспирант кафедры «Теории конструирования инженерных сооружения», Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: gususev@yandex.ru

Alexander S. Gusev, graduate student of the Department of «Theory of engineering structures design», Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: gususev@yandex.ru

Чебан Егор Юрьевич, д.т.н., профессор кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: egor.cheban.2@gmail.com

Ehor Yu. Cheban, Ph.D. in Engineering Science, Professor of the Department of Hydrodynamics, Ship Theory and ecological safety Mechanics, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603950, e-mail: egor.cheban.2@gmail.com

Статья поступила в редакцию 07.03.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 07.03.2025; published online 20.06.2025.

УДК 629.12:629.1.07

DOI: 10.37890/jwt.vi83.608

Исследование влияния заострения оконечностей на погрешность определения водоизмещения методом драфт-сюрвея при общих продольных деформациях корпуса судна

П.А. Бимбереков

ORCID: 0000-0003-4303-8570,

М.Д. Васильев

Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Россия

Аннотация. В работе исследуется на 3D-моделях объектов с упрощенными обводами на базе параллелепипеда влияние заострения батоксов и ватерлиний на погрешность определения величины водоизмещения методом драфт-сюрвея при получении корпусом судна общих продольных деформаций относительно миделя в виде прогиба, перегиба и кручения, при исходной посадке прямо и на ровный киль и отсутствии строительного дифферента. В качестве объекта исследования был выбран понтон с размерениями: длина наибольшая / длина между перпендикулярами / ширина / высота борта / осадка (в полном грузу) в метрах составляют $L_H/L_{LL}/B/H/T=85/83/16,5/3,3/2,5$. Обводы оконечностей изменялись подъемом батокса и/или остроты ватерлинии с изменением коэффициентом общей полноты оконечностей (длиной по $0,15L_H \approx 0,154L_{LL}$) $\delta^* \in [1,0 \dots 0,33]$. Стрелки изгиба корпусов судов выбирались в пределах существующего реального относительного диапазона от 0 до 0,005 в долях от длины корпусов по конструктивной ватерлинии. Подбиралась посадка судов таким образом, чтобы среднее значения шкал осадок у деформированных корпусов совпадало со значениями при отсутствии общих продольных деформаций. В результате получены графические зависимости связи коэффициентов полноты корпуса и относительной погрешности определения водоизмещения методом драфт-сюрвея при общих продольных деформациях корпуса. В частности, получена зависимость влияния остроты ватерлинии и батоксов в оконечностях по отдельности и их совместного влияния. Получено, что при общей продольной деформации корпуса погрешность водоизмещения от изменения заострения батокса зависит существенно меньше, чем от заострения ватерлиний при использовании метода драфт-сюрвея.

Ключевые слова: общие продольные деформации корпуса, метод драфт-сюрвея, погрешность определения водоизмещения, шкалы осадок, заострение батокса и/или ватерлинии.

Investigation of the effect of pointed extremities on the error in determining displacement by the draft survey method for general longitudinal deformations of the ship's hull

Pavel A. Bimberekov

ORCID: 0000-0003-4303-8570

Mihail D. Vasilev

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

Abstract The work investigates on 3D models of objects with simplified contours based on a parallelepiped the effect of the sharpening of the buttocks and waterlines on the error in determining the displacement by the draft study method is investigated when the hull experiences general longitudinal deformations relative to the middle part of the vessel in the form of deflection, bending and torsion during the initial landing of the vessel straight, as well as on a even keel and the absence of a construction pitch. A pontoon with the following

dimensions was chosen as the object of study: the maximum length / length between the perpendiculars / width / height of the side / draft (in full load) in meters are $L_N/L_{LL}/B/H/T=85/83/16,5/3,3/2,5$. The contours of the extremities were changed by the rise of the buttock lines and/or the sharpness of the waterline with by changing the coefficient of total completeness of the extremities (with a length of $0.15L_N \approx 0.154L_{LL}$) $\delta^* \in [1.0...0.33]$. The bending arrows of the ships' hulls were selected within the existing real relative range from 0 to 0.005 in fractions of the length of the hulls along the structural waterline. The ships were fitted in such a way that the average values of the draft scales for deformation hulls coincided with the values in the absence of general longitudinal deformations. As a result, graphical dependences of the relationship between the coefficients of hull completeness and the relative error in determining displacement by the draft survey method for general longitudinal deformations of the hull are obtained. In particular, the dependence of the influence of the sharpness of the waterline and the buttock lines at the extremities separately and their combined influence was obtained. It is found that with the general longitudinal deformation of the hull, the displacement error depends significantly less on the change in the sharpness of the buttocks than on the sharpness of the waterlines when using the draft survey method.

Keywords: general longitudinal deformations of the hull, draft survey method, error in determining displacement (carrying capacity), draft scales, buttock lines and/or waterline sharpening.

Введение

Полнота обводов оконечностей влияет на значения величины водоизмещения судна при его общем продольном изгибе, оцениваемого методом драфт-сюрвея по шкалам осадок. Для установления зависимости влияния формы оконечности, которую можно учитывать и при проектировании судов, на значения погрешности величины водоизмещения методом драфт-сюрвея необходимо исследовать её зависимость от различных коэффициентов полноты корпуса.

В качестве объекта исследования был выбран понтон с главными размерениями как у баржи площадью проекта 16801. Её размерения: длина наибольшая / длина между перпендикулярами / ширина / высота борта / осадка (в полном грузу) в метрах составляют $L_H/L_{LL}/B/H/T=85/83/16,5/3,3/2,5$ с исходными упрощенными обводами в виде параллелепипеда при последующем изменении полноты оконечностей. Форма оконечностей (по $0,154L_{LL}$ примерно соответствующее [1]) менялась двумя вариантами:

- подъемом батокса от основной плоскости;
- заострением ватерлинии.

Изменение обводов производилось таким образом, что коэффициент общей полноты оконечностей менялся в диапазоне значений $1,0...0,33$.

Значения предельных величин общего изгиба корпуса, состоящего из упругой и остаточной составляющих, взяты на основании работ [2...11] диапазоном до относительного значения (стрелки прогиба к длине) $f/L_{LL} \approx 0,005$.

Отдельно рассматривались заострения батоксов и ватерлиний, а также несколько случаев их одновременного заострения. Заострения ватерлиний было принято на расстоянии 8 и 12,75 м от носового и кормового перпендикуляров. Часть ватерлинии на перпендикулярах начиналось на следующих расстояниях от диаметральной плоскости (ДП): 0; 2,25; 4,25; 6,25 и 8,25 м (последнем случае ватерлиния представляет собой прямоугольник со сторонами $L_{LL}/B=83/16,5$).

Цель работы: выявление зависимостей погрешности определения водоизмещения методом драфт-сюрвея при заострении оконечностей, приводящему к разной полноте обводов самих оконечностей и корпусов судов в целом.

Визуализация изменения обводов построенных 3D-моделей понтона в программе SolidWorks от исходного состояния параллелепипеда приведена на рис.1.

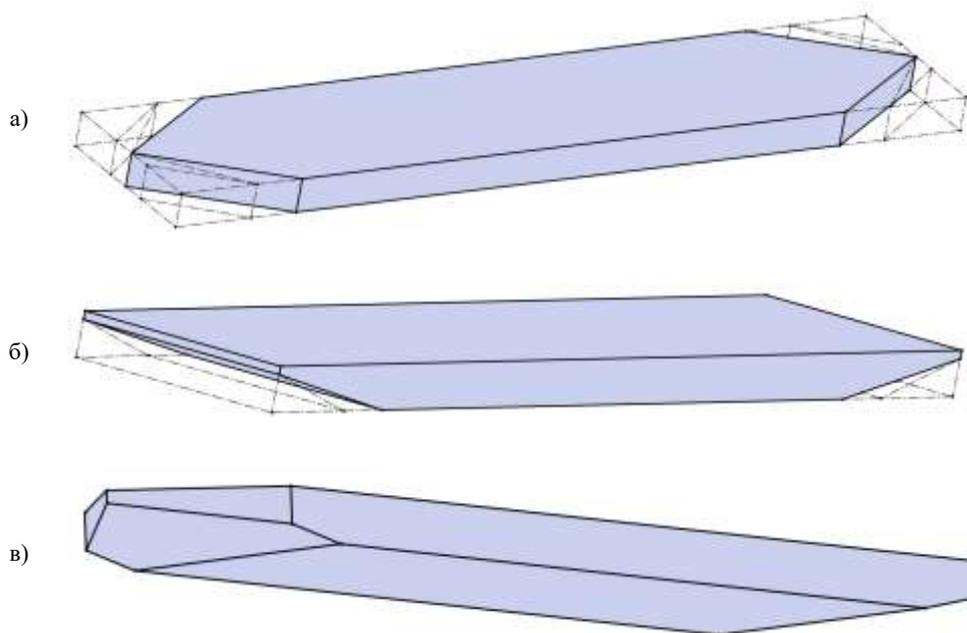


Рис. 1. Варианты изменения обводов корпуса при:
а) заострение ватерлинии; б) заострение (подъем) батокса; в) двойное заострение батокса и ватерлинии

Методика исследования

Задаемся величиной стрелки общего изгиба, изгибаем 3D-модель в программе Solid Works относительно принятого положения нейтральной оси эквивалентного бруса корпуса понтона. Далее подбираем среднее значение по шкалам осадок равным исходному (не деформированному) состоянию корпуса понтона. Затем находим величину объемного водоизмещения при найденном положении ватерлинии. Разница между объемными водоизмещениями деформированного ($V_{\text{деф}}$) и не деформированного (V) корпусов являет собой искомую погрешность водоизмещения (ΔV) по фиксируемым значениям шкал осадок.

Варианты деформации корпусов понтонов представлены на рис.2. Значение стрелки прогиба при кручении определялось в точках на расстоянии полуширины от ДП с учетом наклона ватерлиний в крайних точках носа и кормы.

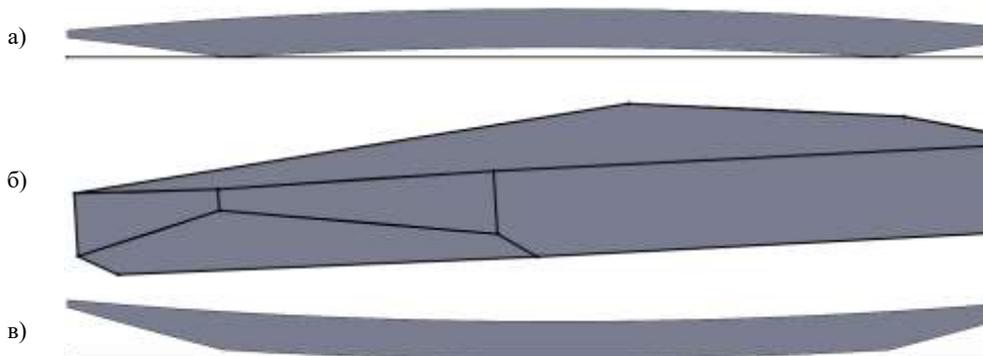


Рис. 2. Варианты деформации 3D-модели понтона: а) перегиб; б) прогиб; в) кручение

Результаты исследования

Результаты расчётно-графической оценки водоизмещения при общих продольных деформациях корпуса в зависимости от коэффициентов полноты k_i , различных заострениях ватерлинии и батокса относительной деформации $f/L_{\perp} \approx 0,005$ представлены на рис.3.

На основании графических зависимостей рис.3 получаем, что более удачными являются зависимости погрешности водоизмещения при всех видах рассмотренных деформаций от коэффициентов: δ , χ^* и φ^* .

Расчеты по выбранным коэффициентам полноты корпуса понтонов с перебором относительных стрелок продольной деформации до 0,005 с шагом в 0,001, при положении нейтральной оси 2/3 высоты борта от основной плоскости представлены в виде графических зависимостей на рис. 4..6. Такое положение нейтральной оси характерно для судов площадок, при этом расчеты показывают, что изменение положения нейтральной оси на 1/3 от высоты борта, как правило не дает превышения погрешности водоизмещения более чем 0,1%. Отметим, что на рис.3 значения коэффициентов χ^* и φ^* полностью совпадают. Графики зависимостей погрешности водоизмещения от коэффициентов δ , χ^* и φ^* , для заострения ватерлиний и батоксов по отдельности, а также совместных заострений (двойные заострения), при деформациях 0,001...0,005 приведены на рис. 4...6.

Обсуждение

Для выбранной в исследовании формы корпуса понтона с разной величиной заострения батоксов, ватерлиний, двойного заострения при общих продольных деформациях получено, что погрешность водоизмещения в случае использования метода драфт-сюрвея может достигать 1,5% от водоизмещения не деформированного корпуса. Это на наш взгляд вполне существенная величина. Не сложно оценить, что погрешность определения массы грузов будет иметь большее значение чем погрешность водоизмещения на величину прямо пропорциональную отношению водоизмещения судна к грузоподъемности при данной осадке.

В ходе исследования выявлено, что наиболее удачными коэффициентами для фиксации зависимости погрешности водоизмещения при использовании метода драфт-сюрвея и общих продольных деформациях корпуса являются: коэффициент общей полноты δ , коэффициенты продольной и вертикальной полноты оконечностей, соответственно φ^* и χ^* .

Получено, что при общей продольной деформации корпуса погрешность водоизмещения от изменения заострения батокса зависит существенно меньше, чем от заострения ватерлиний при использовании метода драфт-сюрвея.

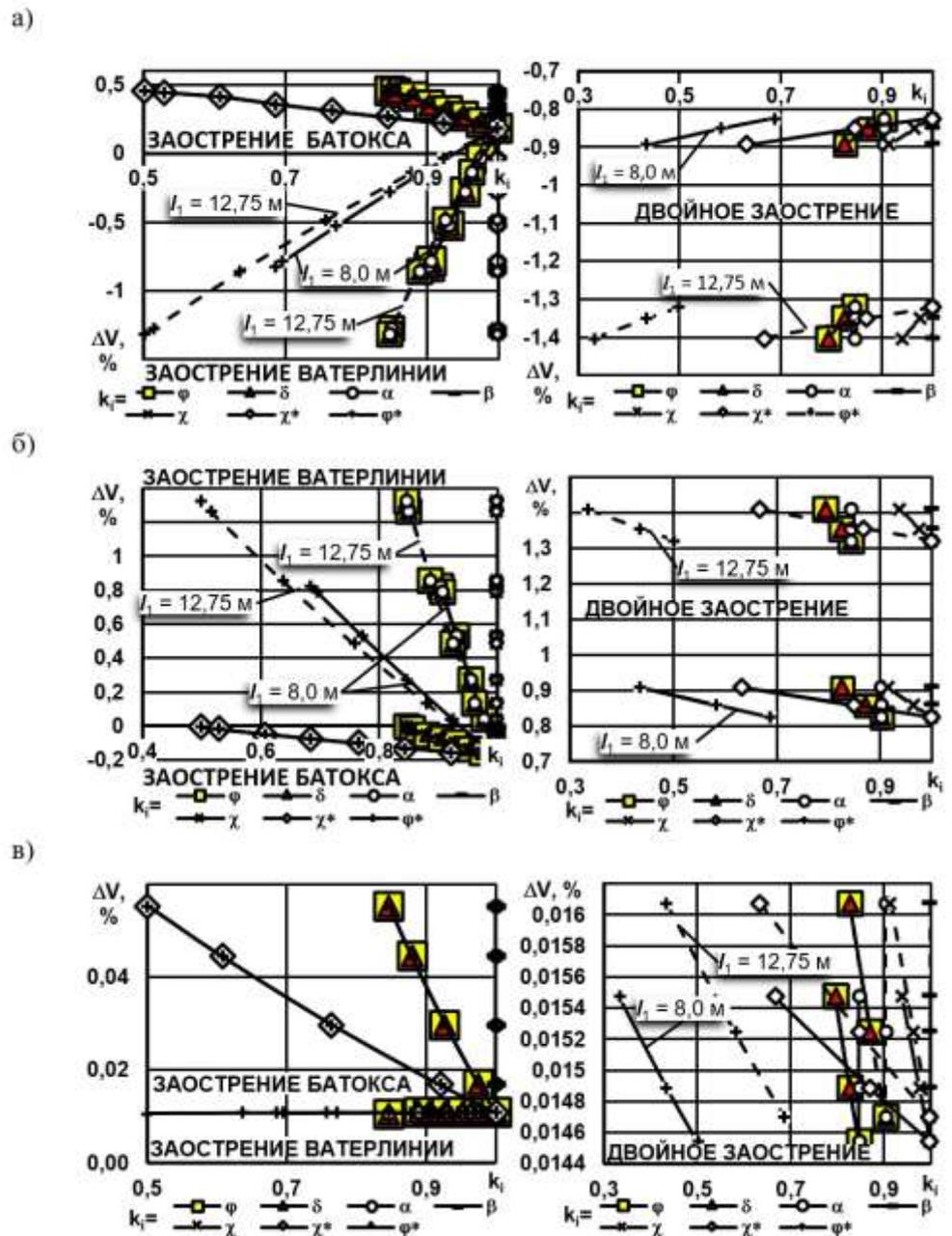


Рис. 3. Графики зависимостей погрешности водоизмещения от вида общей продольной деформаций корпуса при положении нейтральной оси 2/3 от высоты борта от основной плоскости при коэффициентах полноты k_1 :
а) перегиб; б) прогиб; в) кручение

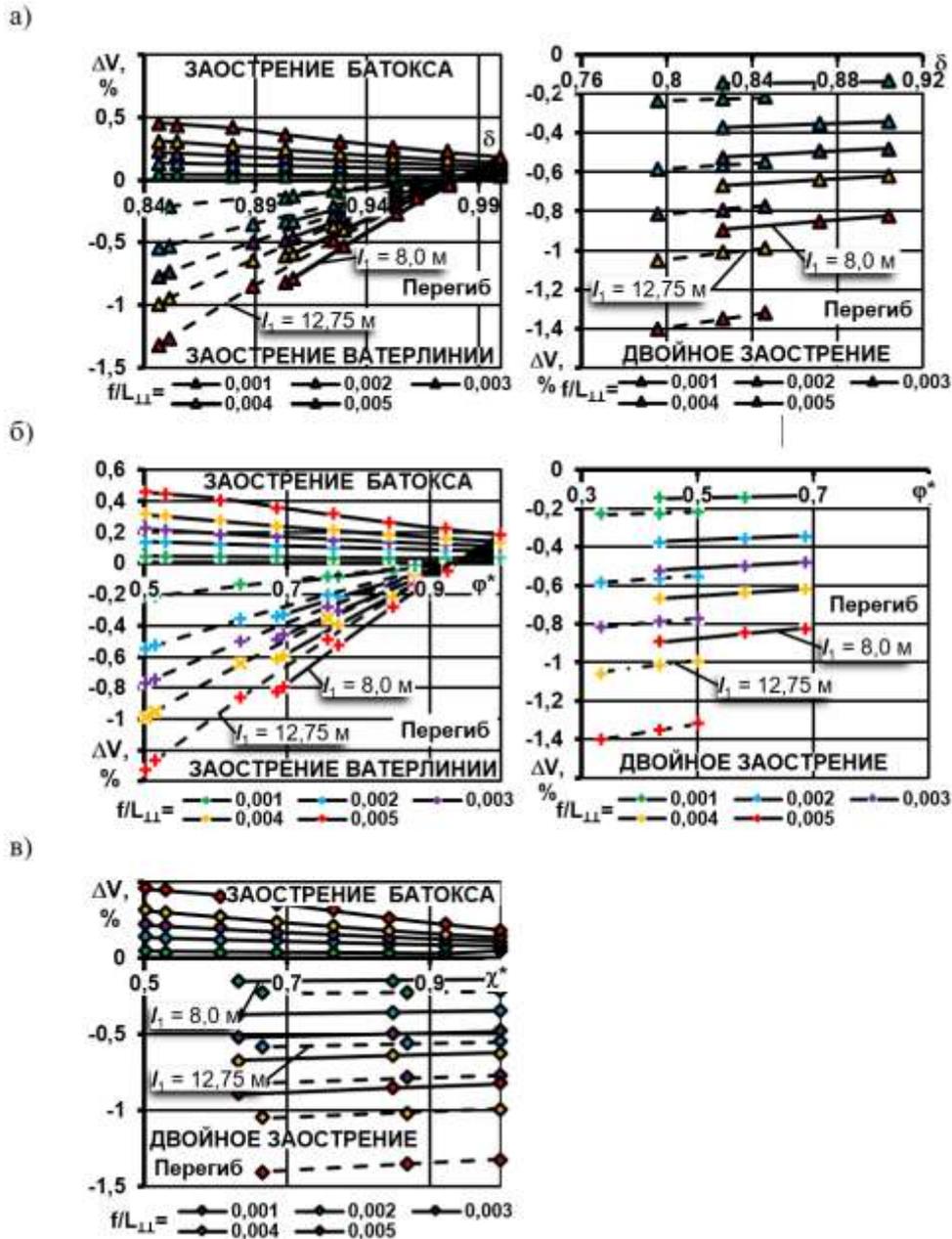
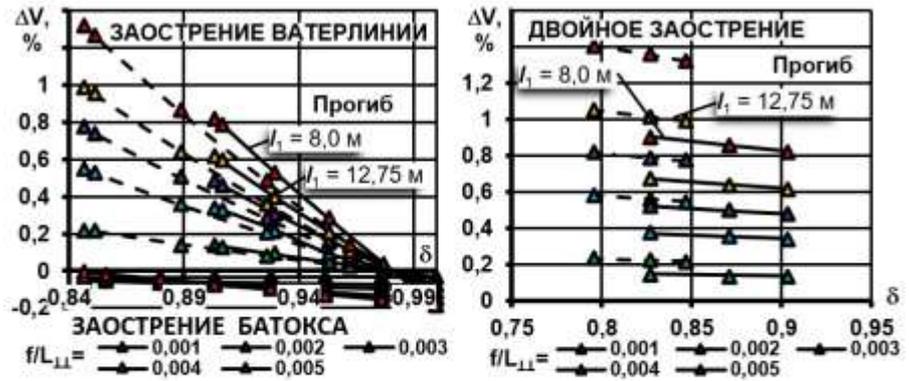


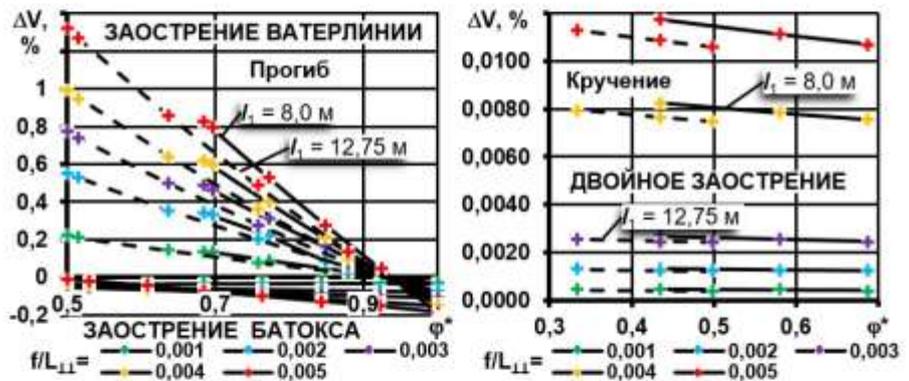
Рис. 4. Графики зависимостей погрешности водоизмещения от относительной величины перегиба корпуса f/L_{11} при положении нейтральной оси 2/3 от высоты борта от основной плоскости при коэффициентах полноты:

а) δ (перегиб: заострение ватерлиний и батоксов, двойное заострение); б) χ^* (перегиб: заострение ватерлиний и батоксов, двойное заострение); в) φ^* (перегиб: заострение батоксов и двойное заострение)

а)



б)



в)

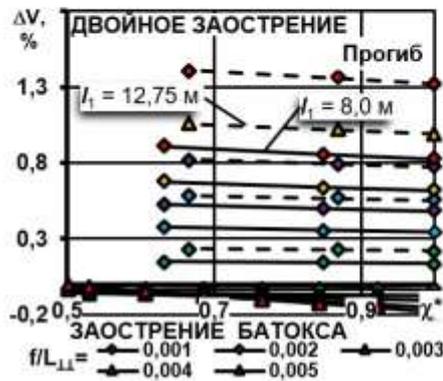


Рис. 5. Графики зависимостей погрешности водоизмещения от относительной величины прогиба корпуса f/L_{11} при положении нейтральной оси $2/3$ от высоты борта от основной плоскости при коэффициентах полноты:

а) δ (прогиб: заострение ватерлиний и батоксов, двойное заострение); б) χ^* (прогиб: заострение ватерлиний и батоксов, двойное заострение); в) φ^* (прогиб: заострение батоксов и двойное заострение)

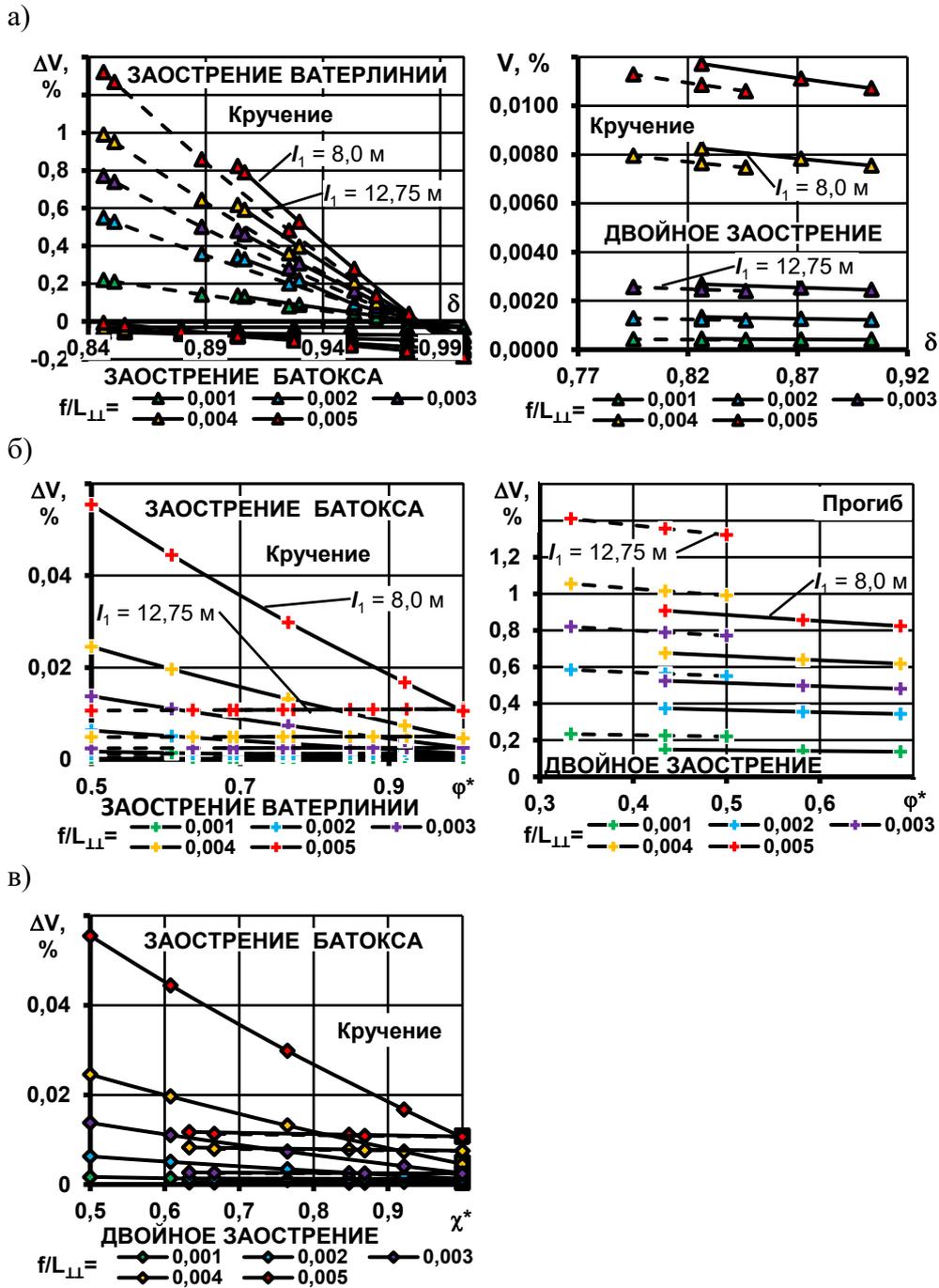


Рис. 6. Графики зависимостей погрешности водоизмещения от относительной величины кручения корпуса f/L_{11} при положении нейтральной оси 2/3 от высоты борта от основной плоскости при коэффициентах полноты:

- а) δ (кручение: заострение ватерлиний и батоксов, двойное заострение);
- б) χ^* (кручение: заострение ватерлиний и батоксов, двойное заострение);
- в) φ^* (кручение: заострение батоксов и двойное заострение)

Заключение

В результате настоящего исследования выявлена роль заострения батоксов и ватерлиний по отдельности на величину погрешности водоизмещения при использовании метода драфт-сюрвея [12, 13] корпусов объектов водного транспорта, имеющих общие продольные деформации в виде пологих прогиба, перегиба и кручения. Полученные графические зависимости выражены в относительных величинах и могут послужить ориентировочной оценкой для разных проектов судов, имеющих коэффициенты полноты в диапазоне представленных в статье графиков.

При выявлении целесообразности для представленных выше графических зависимостей могут быть получены аналитические аппроксимационные выражения.

Список литературы

1. ФАУ «Российское Классификационное Общество». Правила классификации и постройки судов. URL: <https://rfclass.ru/izdaniya-rko/pravila-klassifikatsii-postroyki-i-osvidetelstvovaniya-sudov-vvp-sudov-smeshannogo-reka-more-plavaniya-plavuchikh-obektov/pravila-klassifikatsii-i-postroyki-sudov/> (дата обращения 18.05.25).
2. Гунин, И. А. Влияние остаточных и температурных прогибов корпуса судна на изгибающий момент от внешних сил / И. А. Гунин // Труды ЛИВТа. Л.: Речной транспорт, 1960, выпуск VI. – С. 24-32.
3. Гунин, И. А. Обобщение данных по натурным замерам остаточного прогиба корпуса и установление его влияния на общую прочность судов / И. А. Гунин // Труды ЛИВТа. Л.: Транспорт, 1972, выпуск 135. – С. 45-49.
4. Карклина, Т. О. Технологический подход к проблеме стабилизации метрологических характеристик танкеров / Т. О. Карклина // Ремонт речных судов: сборник научных трудов ЛИВТа, Л.: ЛИВТ, 1990. – С. 32-37.
5. Бимбереков, П.А. Исследование повреждаемости, методики освидетельствования и дефектации корпусных конструкций судов внутреннего и смешанного плавания / П.А. Бимбереков. – Новосибирск: НГАВТ, 2007. – 420 с.
6. Барышников, С.О. Измерение остаточных отклонений оси корпуса судно от исходного положения / С.О. Барышников // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, 2024, Т. 16, № 5. – С. 749-761.
7. Пат. №2298162 Способ определения общих остаточных деформаций корпусов транспортных и/или 350 стояночных средств: Российская Федерация, МПК G01 M 5/00 / Бимбереков П.А.; заявитель и патентообладатель Бимбереков П.А. – №2006107268/28; заяв. 09.03.2006; опубл. 27.04.2007, бюл. №12.
8. Пат. №2293957 Способ контроля общих остаточных деформаций корпусов транспортных и/или стояночных средств: Российская Федерация, МПК G01 M 5/00, G01 L 1/06 / Бимбереков П.А.; заявитель и патентообладатель Бимбереков П.А. – №2006105924/28; заяв. 26.02.2006; опубл. 20.02.2007, бюл. №5.
9. Пат. №2435149 Способ определения остаточного продольного изгиба корпуса судна: Российская Федерация, МПК G 63 M 5/00 / Барышников С.О., Карклина Т.О., Чистов В.Б.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций – №22010106960/28; заяв. 24.02.2010; опубл. 27.04.2011, бюл. №33.
10. Барышников, С. О. Устранение остаточного перегиба корпусов судов: монография / С. О. Барышников. – СПб.: СПГУВК, 2011. – 200 с.
11. Бимбереков, П.А. Использование теоретических и эмпирических методов при построении моделей в задачах водного транспорта: учебное пособие для вузов водного транспорта / П.А. Бимбереков. – Новосибирск: СГУВТ, 2023. – 55 с.
12. Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации. Федеральный закон №24-ФЗ от 7 марта 2001 г. (ред. от 08.06.2020) / [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://base.consultant.ru> 18.05.2025.
13. Правила перевозок груза (речного транспорта), ч.1, Н. Новгород: ТОО "Фора", 1994.–285 с.

References

1. FAU «Rossijskoe Klassifikacionnoe Obshchestvo». Pravila klassifikacii i postrojki sudov. URL: <https://rfclass.ru/izdaniya-rko/pravila-klassifikatsii-postroyki-i-osvidetelstvovaniya-sudov-vvp->

- sudov-smeshannogo-reka-more-plavaniya-plavuchikh-obektov/pravila-klassifikatsii-i-postroyki-sudov/ (data obrashcheniya 18.05.25).
2. Gunin, I. A. Vliyanie ostatochnykh i temperaturnykh progibov korpusa sudna na izgibayushchij moment ot vneshnih sil / I. A. Gunin // Trudy LIVTa. L.: Rechnoj transport, 1960, vypusk VI. – S. 24-32.
 3. Gunin, I. A. Obobshchenie dannyh po naturnym zameram ostatochnogo progiba korpusa i ustanovlenie ego vliyaniya na obshchuyu prochnost' sudov / I. A. Gunin // Trudy LIVTa. L.: Transport, 1972, vypusk 135. – S. 45-49.
 4. Karklina, T. O. Tekhnologicheskij podhod k probleme stabilizacii metrologicheskikh harakteristik tankerov / T. O. Karklina // Remont rechnykh sudov: sbornik nauchnykh trudov LIVTa, L.: LIVT, 1990. – S. 32-37.
 5. Bimberekov, P.A. Issledovanie povrezhdaemosti, metodiki osvidetel'stvovaniya i defektacii korpusnykh konstrukcij sudov vnutrennego i smeshannogo plavaniya / P.A. Bimberekov. – Novosibirsk: NGAVT, 2007. – 420 s.
 6. Baryshnikov, S.O. Izmerenie ostatochnykh otklonenij osi korpusa sudno ot iskhodnogo polozheniya / S.O. Baryshnikov // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova, 2024, T. 16, № 5. – S. 749-761. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-5-749-761
 7. Pat. №2298162 Sposob opredeleniya obshchih ostatochnykh deformacij korpusov transportnyh i/ili 350 stoyanochnykh sredstv: Rossijskaya Federaciya, MPK G01 M 5/00 / Bimberekov P.A.; zayavitel' i patentoobladatel' Bimberekov P.A. – №2006107268/28; zayav. 09.03.2006; opubl. 27.04.2007, byul. №12.
 8. Pat. №2293957 Sposob kontrolya obshchih ostatochnykh deformacij korpusov transportnyh i/ili stoyanochnykh sredstv: Rossijskaya Federaciya, MPK G01 M 5/00, G01 L 1/06 / Bimberekov P.A.; zayavitel' i patentoobladatel' Bimberekov P.A. – №2006105924/28; zayav. 26.02.2006; opubl. 20.02.2007, byul. №5.
 9. Pat. №2435149 Sposob opredeleniya ostatochnogo prodol'nogo izgiba korpusa sudna: Rossijskaya Federaciya, MPK G 63 M 5/00 / Baryshnikov S.O., Karklina T.O., Chistov V.B.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet vodnyh kommunikacij – №22010106960/28; zayav. 24.02.2010; opubl. 27.04.2011, byul. №33.
 10. Baryshnikov, S. O. Ustranenie ostatochnogo peregiba korpusov sudov: monografiya / S. O. Baryshnikov. – SPb.: SPGUVK, 2011. – 200 s.
 11. Bimberekov, P.A. Ispol'zovanie teoreticheskikh i empiricheskikh metodov pri postroenii modelej v zadachah vodnogo transporta: uchebnoe posobie dlya vuzov vodnogo transporta / P.A. Bimberekov. – Novosibirsk: SGUVT, 2023. – 55 s.
 12. Kodeks vnutrennego vodnogo transporta Rossijskoj Federacii. Federal'nyj zakon №24-FZ ot 7 marta 2001 g. (red. ot 08.06.2020) / [Elektronnyj resurs] Rezhim dostupa: <http://base.consultant.ru> 18.05.2025.
 13. Pravila perevozok gruzha (rechnogo transporta), ch. I, N. Novgorod: TOO "Fora", 1994. – 285 s.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Бимбереков Павел Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры теории корабля, судостроения и технологии материалов, Сибирский государственный университет водного транспорта, 630099, Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: bimberekov@yandex.ru

Pavel A. Bimberekov, Dr. Sci. (Eng), Assistant professor, Professor of the Department Ship Theory, Shipbuilding and Materials Technology, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: bimberekov@yandex.ru

Васильев Михаил Дьудустанович, учебный мастер кафедры теории корабля, судостроения и технологии материалов, Сибирский государственный университет водного транспорта, 630099, Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: mihail.miha.vasilev@mail.ru

Mihail D. Vasilev, the training master of the Department Ship Theory, Shipbuilding and Materials Technology, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: mihail.miha.vasilev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 28.04.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 28.04.2025; published online 20.06.2025.

УДК 629.5.01
DOI: 10.37890/jwt.vi83.589

Исследование математической модели оптимизации характеристик контейнерного судна

Ю.П. Буров

ORCID: 0009-0000-8837-7993

Ю.А. Кочнев

ORCID: 0000-0002-6864-4473

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

Аннотация. Проектирование современного морского судна неразрывно связано с созданием его «электронной копии», реализуемой в виде математической модели. При этом, она содержит в себе не просто минимально необходимые для дальнейших расчетов формулы, зависимости и переменные, но и обеспечивает целостность, объективность и всесторонность данных об исследуемом объекте в некоторой области поиска решения. В совокупности с применяемым алгоритмом оптимизации, за который в настоящей работе выбран метод случайного поиска, реализована система расчета характеристик контейнерного судна с оптимизацией по заданному критерию эффективности в виде приведенных затрат. В статье приведены результаты расчёта характеристик фидерного контейнерного судна, выполненный в разработанной программе оптимизации, и анализ свойств математической модели на основе данных численных экспериментов, позволяющих оценить ее адекватность, чувствительность и устойчивость. Сравнение полученных результатов с реально существующими контейнерными судами позволило исследовать поведение математической модели в области наивысшей точности, и обосновать отклонения полученных оптимальных экспериментальных данных по заданным определяющим переменным от сравниваемого проекта судна.

Ключевые слова: математическая модель, контейнерное судно, оптимизация, алгоритм случайного поиска, адекватность, критерий эффективности, компьютерные эксперименты.

Study of a mathematical model for optimizing a container ship characteristics

Yuri P. Burov

ORCID: 0009-0000-8837-7993

Yuri A. Kochnev

ORCID: 0000-0002-6864-4473

Volga State University of Water Transport

Abstract. The design of a modern marine vessel is inextricably linked with the creation of its "electronic copy", implemented in the form of a mathematical model. At the same time, it contains not only the formulas, dependencies and variables that are minimally necessary for further calculations, but also ensures the integrity, objectivity and comprehensiveness of data about the object under study in some area of the search for a solution. In conjunction with the optimization algorithm used, for which the random search method is selected in this paper, a system for calculating the characteristics of a container ship is implemented with optimization according to a given efficiency criterion in the form of reduced costs. The article presents the results of calculating the characteristics of a feeder container vessel, performed in the developed optimization program, and analyzing the properties of a mathematical model based on numerical experimental data to assess its adequacy, sensitivity, and stability. A comparison of the results obtained with actual container ships made it

possible to investigate the behavior of the mathematical model in the field of the highest accuracy, and to justify the deviations of the optimal experimental data obtained for the specified defining variables from the compared vessel design.

Keywords: mathematical model, container ship, optimization, random search algorithm, adequacy, efficiency criteria, computer experiments.

Введение

В процессе создания такой сложной системы как «судно» накапливается масса информации, которая требует строгого упорядочивания и ясного отображения. В связи с этим в судостроении получил широкое распространение метод математического моделирования. Позволяя избежать больших затрат временных, финансовых и других видов ресурсов, имея способность адаптироваться к поставленным условиям, независимость от внешних факторов, наличие в своем составе унифицированного критерия эффективности сделали данный метод на сегодняшний день практически незаменимым.

Однако, какими бы убедительными не были выводы теоретических утверждений, только подкрепленные практикой факты могут служить основанием для серьезных выводов. Для определения свойств математической модели, в качестве постоптимизационного анализа необходим цикл компьютерных экспериментов, позволяющих оценить ее адекватность. Их результаты могут быть впоследствии подкреплены и натурными испытаниями судна, причем такие испытания могут входить и в требования классификационных обществ по отдельным мореходным качествам, как приведено в [1].

Материалы и методы

Контейнерное судно – судно, предназначенное для перевозки грузов в контейнерах международного образца и имеющее ячеистые направляющие конструкции в трюмах [2]. Этот тип судов является одним из самых динамично развивающихся в условиях современного рынка морских перевозок. Показательной статистикой в этом вопросе является динамика развития мировой морской контейнерной торговли, изображенная на рис 1, где желтым цветом изображен оборот торговли по морским путям Тихого океана, синим – Атлантического, а голубым – маршрут Европа-Азия. Численность двадцатифутовых контейнеров (далее «TEU» - twenty-foot equivalent unit, англ.), задействованных на рынке морских перевозок, с 1995 по 2017 год выросла в 2.33, 5.75 и 3.25 раз соответственно.

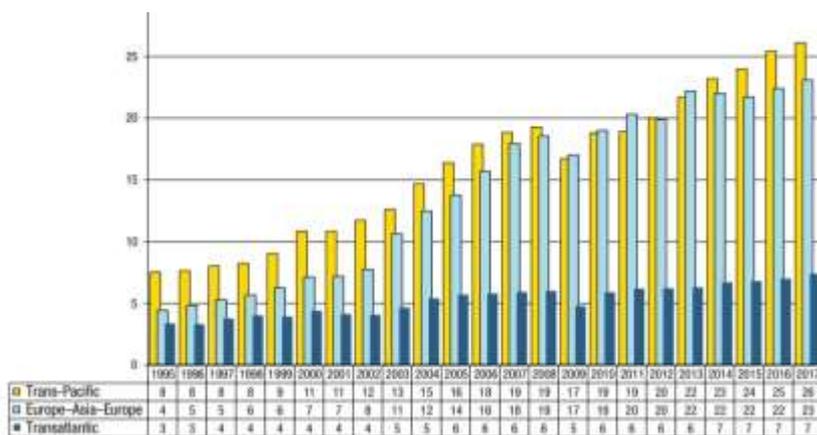


Рис. 1. Показатели оборота мировой морской торговли (млн. TEU) [3]

Разработанная математическая модель состоит из восьми подсистем, реализующих математическое описание взаимосвязи между главными неизвестными судна, прогнозирование ходкости, генерации теоретического чертежа, расчёта нагрузки масс, обеспечения непотопляемости, контейнеровместимости, остойчивость, и анализа экономических показателей. Реализация перечисленных подсистем выполнена на основе рекомендации [4, 5].

В совокупности с алгоритмом оптимизации методом случайного поиска система, реализованная с помощью программного комплекса «Архелон», проводит расчет характеристик контейнерного судна на основе вводимых исходных данных. Подробно изложенный принцип работы описан в источнике [6].

На сегодня известны и широко применяются различные методы оптимизации системы [7], применяемые в том числе для достижения необходимой эффективности. Используемый в настоящем исследовании способ оптимизации известен как алгоритм оптимизации методом случайного поиска (АСП) [8] с управлением выбора переменных в зависимости от нарушенных ограничений, получивший свое распространение в последние годы в связи с развитием мощностей вычислительной техники. Данный вид алгоритма оптимизации имеет явное преимущество – возможность работы с дискретными и непрерывными переменными. В исследуемой математической модели применено 5 оптимизируемых переменных: объемное водоизмещение V , длина между перпендикулярами L_{pp} , количество контейнеров в одном ярусе n_{kr} , число ярусов контейнеров в трюме n_{ky} и коэффициент общей полноты судна δ .

Результаты

Каждая математическая модель проверена на адекватность при различных назначенных условиях. Один из самых распространенных способов проверки адекватности построенной математической модели – сравнение с существующим судном [9]. В качестве исходных данных для оценки адекватности принято судно проекта PW700. Это одновинтовое контейнерное судно с кормовым расположением машинного отделения, оборудованное главным двигателем общей проектной мощностью 7200 кВт, основные характеристики которого приведены в Таблице 1, а общий вид изображен на рис 2.

Таблица 1

Характеристики судна проекта PW700

№	Название	Переменная	Единицы	Значение
0	Водоизмещение судна	V	м ³	12153
1	Длина между перпендикулярами	L_{pp}	м	126.8
3	Количество контейнеров в одном ярусе	n_{kr}	TEU	6
4	Число ярусов контейнеров в трюме	n_{ky}	TEU	3
5	Коэффициент общей полноты судна	δ	---	0.671
6	Расчетная скорость	v_0	уз.	17
7	Заданная контейнеровместимость	ZADK	TEU	682
8	Количество ярусов палубных контейнеров	NPLA	TEU	5

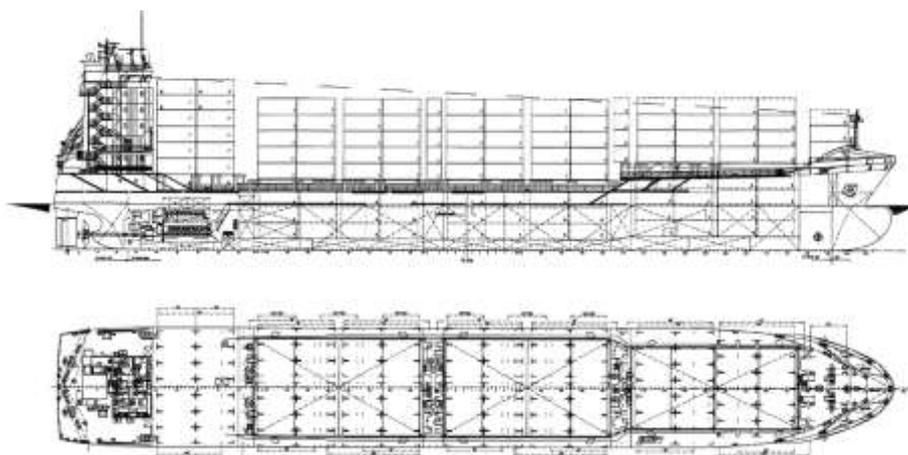


Рис. 2. Общий вид контейнерного судна проекта PW700

Здесь и далее контейнеровместимость судна и другие подобные параметры указываются в TEU – стандартных 20-ти футовых контейнерах в соответствии с ISO 668:1995[10].

В исследуемой математической модели в качестве критерия эффективности выбран показатель минимальной стоимости постройки и эксплуатации судна с заданным количеством перевозимых контейнеров. Выбор данного типа критерия обусловлен в первую очередь типом судна. Контейнеровозы – суда изначально проектирующиеся и строящиеся для достижения максимальной прибыли путем транспортировки заданного количества груза в контейнерах, соответственно, чем большую прибыль способно приносить судно, тем более представленный проект будет привлекателен для Заказчика и шансы на его воплощение в жизнь возрастут. Данный тип критерия относится к минимизируемому типу и не является единственно возможным, так распространено и применение максимизируемого типа критерия как в [11].

Как видно из представленных в Таблице 2 результатов судно прошло проверку всеми наложенными ограничениями системы и стало успешным вариантом в первом же цикле расчета. То есть система не обратилась к генерации нового значения переменных, однако, показала адекватность реализованной математической модели с точки зрения расчета в ней реально существующего судна.

Таблица 2

Результаты расчета

№	Переменная	Единицы	PW700	Модель	Δ, %
0	L _{PP}	м	126.8	126.8	0
1	H	м	9.47	9.47	0
2	B	м	19.4	19.4	0
3	T	м	7.36	7.36	0
5	DW	т	8505	8505	0
6	V	м ³	12153	12153	0
7	P _S	кВт	7200	7200	0
8	N _{PER}	шт	5	5	0
9	KNPL	TEU	485	485	0
10	KNTR	TEU	204	204	0
11	KONV	TEU	682	682	0

Для нахождения оптимального варианта необходимо провести оптимизационный цикл, варьируя значения исследуемых переменных. Для этого проведен расчет судна типа проекта PW700 в программно-методическом комплексе «Архелон», заданы параметры оптимизации, которые выбираются исходя из технического задания, математической применимости формул или назначаются Проектантом, опираясь на имеющийся опыт разработки аналогичных судов: численный диапазон, в котором варьируется значение оптимизируемой переменной, количество дискретных и непрерывных оптимизируемых переменных, количество циклов оптимизации.

В Таблице 3 приведены диапазоны изменения основных параметров оптимизации в виде непрерывных величин. При этом, такие параметры как количество контейнеров в одном ярусе и количество ярусов контейнеров являются дискретными и не задаются. Как видно из представленных данных система позволяет задать количество ограничений, диапазон минимального и максимального значения оптимизируемых переменных (длина судна между перпендикулярами, водоизмещение, коэффициент общей полноты), количество дискретных и непрерывных переменных, количество циклов оптимизации. Изменение этих параметров может потребоваться, для расширения области поиска оптимальных значений переменной (например, ограничение длины судна для возможности эксплуатации на заданных маршрутных линиях), увеличения циклов расчетов для уточнения оптимального варианта системы и в других подобных случаях.

Таблица 3

Параметры оптимизации

Параметр	Переменная	Единицы	Значение
Число ограничений	NOGN	---	6
Мин. значение L_{PP}	L_{PPMIN}	м	70
Макс. значение L_{PP}	L_{PPMIN}	м	300
Мин. значение V	V_{MIN}	м ³	1000
Макс. значение V	V_{MAX}	м ³	100000
Мин. значение δ	δ_{min}	---	0.550
Макс. значение δ	δ_{max}	---	0.725
Число непр. перем.	NX	---	3
Число дискр. перем.	NJ	---	2
Число циклов	MKRT	---	44000

Для определения точности проведенной оптимизации, необходимо повторение эксперимента и оценка полученных результатов. Итоги расчетов приведены в Таблице 4.

Таблица 4

Результаты оптимизации

Переменная	Ед.	PW700	M1	M2	M3	M_{cp}	$\Delta, \%$
V	м ³	12153	11767	11865	11871	11834	-2.32
L_{PP}	м	126.8	130.6	131.1	131.1	130.9	+3.4
δ	---	0.671	0.620	0.621	0.621	0.621	-7.45
n_{kr}	TEU	6	6	6	6	6	0
n_{ky}	TEU	3	3	3	3	3	0
DW	т	8505	8280	8325	8331	8312	-2.04
KNPL	TEU	485	539	545	545	543	+12.37
P_s	кВт	7200	6676	6743	6753	6724	-6.20
KONV	TEU	682	727	741	743	737	+7.83
N_{PER}	шт.	5	6	6	6	6	+20
Z_{OPT}	$\$ \cdot 10^8$	3.400	3.125	3.117	3.106	3.119	-8.26

Столбцы Таблицы 4 «M1», «M2», «M3» соответствуют итогам проведения оптимизации и расчета для судна в результате трех различных процессов оптимизации по 44000 циклов каждый. Небольшой разброс между значениями моделей позволяет сделать выводы о достаточности построения трех моделей и расчета среднего значения для общего анализа адекватности системы по текущему судну. «M_{ср}» – среднее значение переменных по построенным моделям и, наконец, «Δ» – отклонение значений построенной математической модели от реального судна. Данные последнего столбца Таблицы 4 наглядно демонстрируют наличие лишь небольших «местных» отклонений в характеристиках системы. Полученное новое судно имеет меньшее водоизмещение, коэффициент полноты и, как следствие, меньшую требуемую мощность энергетической установки P_s, что в конечном итоге снижает затраты на перевозку груза и улучшает значение критерия, сохраняя обязательные условия существования системы – требуемую контейнероёмкость, величину метацентрической высоты, и т.д.. Снижение мощности объясняется применением методики расчета ходкости судна и параметров гребного винта, использованной при проведении модельных испытаниях серии быстроходных судов SSPA (Швеция, 1969) [12]. Модели судов, выбранных для проведения данных испытаний, обладают высокой для грузового судна скоростью в диапазоне от 12 до 22 узлов, имеют небольшой коэффициент полноты 0.525-0.75 и обводы быстроходного судна.

Для возможности оценки полученных результатов, важным является выбор количества циклов оптимизации. Результаты компьютерного эксперимента с увеличенным циклом оптимизации представлены в Таблице 5.

Таблица 5 содержит столбец – «M₈₈», в котором отображаются результаты расчетов при 88000 циклов оптимизации, а Δ – отклонения относительно вычислений при количестве циклов равном 44000. Значения Δ не превышают 0.5 %, что говорит о небольших изменениях в характеристиках системы. Новый вариант судна не имеет существенных отличий, следовательно, можно утверждать, что выбранное количество циклов оптимизации является достаточным для решения поставленной задачи.

Таблица 5

Результаты оптимизации с увеличенным кол-вом циклов

Переменная	Единицы	PW700	M ₄₄	M ₈₈	Δ, %
V	м ³	12153	11767.9	11777.3	+0.08
L _{PP}	м	126.8	130.62	131.18	+0.43
δ	---	0.671	0.620	0.618	-0.31
n _{кр}	TEU	6	6	6	0
n _{кy}	TEU	3	3	3	0
DW	т	8505	8280	8282	-0.02
KNPL	TEU	485	539	539	0
P _s	кВт	7200	6369	6367	-0.23
KONV	TEU	689	727	727	0
N _{PER}	шт.	5	6	6	0

Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют свою общую адекватность. Однако, они относятся к начальному этапу проектирования – этапу первого приближения, когда количество неизвестных переменных очень велико. Итоги исследования показали:

1) незначительно изменились значения V и L_{PP} – увеличились длина и водоизмещение судна, соответственно, возросла стоимость постройки судна, однако такое влияние оказалось не столь значительное, поскольку не помешало получить на выходе оптимальное значение минимизируемого критерия;

2) δ – алгоритм оптимизации уменьшил значение коэффициента полноты судна. Если судно удовлетворяет всем ограничениям, то в остальном принцип оптимизации сводится к максимально возможному уменьшению главных размерений судна при сохранении заданной контейнеровместимости, что позволит уменьшить стоимость постройки и эксплуатации судна, а значит улучшить значение критерия.

3) n_{kr} – число контейнеров в поперечном ряду судна получилось по значению идентичным судну проекта PW700. Данная переменная тесно связана с общей шириной судна, уменьшение которой ведет к уменьшению требуемой мощности энергетической установки, однако, такие преобразования ведут к ухудшению остойчивости. Таким образом, варианты с меньшей шириной судна в своем большинстве не прошли проверку системой по минимальной величине метацентрической высоты и были отсеяны алгоритмом.

4) n_{ky} – количество ярусов контейнеров в трюме не претерпело изменений в ходе расчетов. Такой результат объясняется ограничением высоты минимального надводного борта, величину которого реальные суда имеют уже максимально приближенной к оптимальной. Увеличение же количества контейнеров в трюме все так же повлечет удорожание постройки и эксплуатации судна, что, в конечном итоге, ухудшило бы значение критерия эффективности.

5) DW – наряду с заданной контейнеровместимостью, дедейт один из важнейших экономических и технических показателей эффективности судна. Изменения в диапазоне приблизительно 2%, можно считать малым и не влияющим на результаты исследования, принимая во внимание начальную стадию проектирования судна

6) $KNPL$ – количество палубных контейнеров отличается в значительной степени демонстрируя прирост более чем в 12%. Алгоритм оптимизации при расчете данного показателя стремится разместить как можно большего числа контейнеров на открытой палубе, для уменьшения высоты борта и улучшения значения критерия. Очевидно, что ограничением в таком случае для системы будет выступать необходимость обеспечения достаточной остойчивости для судна.

7) P_s – система смогла уменьшить требуемую мощность ЭУ судна, а значит уменьшить стоимость постройки и эксплуатации и улучшить значение критерия. Наряду с увеличением длины судна и уменьшением коэффициента общей полноты, уменьшение требуемой мощности – характерно для заданной математической модели ввиду применения для расчетов ходкости исходные данные ранее упомянутых быстроходных судов серии SSPA. В совокупности такое преобразование в значительной степени позволяет улучшить значение критерия эффективности.

8) $KONV$ – контейнеровместимость судна увеличена системой более чем на 7%, при этом, соблюдено условие минимальной контейнеровместимости. Задача алгоритма оптимизации состояла не в увеличении контейнеровместимости судна, а в улучшении значения критерия, однако система параллельно смогла еще и увеличить контейнеровместимость, что характеризует полученные результаты с положительной стороны.

9) $NPER$ – расстановка водонепроницаемых поперечных переборок – один из сложнейших вопросов проектирования судна. Как видно из анализа данных, оптимизированная система имеет большее количество переборок, по сравнению с судном проекта PW700 (на 1 поперечную переборку у полученной модели больше), что является мерой обеспечения минимальной непотопляемости на текущем начальном этапе проектирования судна. В последствии $NPER$ может уменьшиться за счет конструкторских решений на дальнейших этапах проектирования.

10) $ZOPT$ – стоимость постройки и эксплуатации судна, оптимизируемый критерий эффективности системы, в рассчитанном варианте судна улучшился (уменьшился) на 8.26%. Принимая во внимание, что речь идет о десятках млн. долларов, подобный процент не кажется малым, а сам факт возможности

спроектировать и построить более эффективное судна всегда будет являться очень привлекательным для Заказчика.

В процессе создания судна, при более подробных расчетах, могут быть уточнены характеристики судна, при этом зачастую такие уточнения не лучшим образом сказываются на эффективности всей системы.

Настоящее исследование является комплексным, имеет большое количество направлений развития. Одним из таких направлений, ввиду вышеуказанных проблем, может являться ужесточение системы ограничений или усложнение математической модели. Данные процессы позволят получить более полное представление о будущем судне, сделать систему более устойчивой к внешним колебаниям, предложить новые возможности по улучшению значения критерия эффективности.

Заключение

Математическая модель тесно связана с алгоритмом оптимизации. Она рассчитывает характеристики проектируемого судна на основе исходных данных, заданных Заказчиком, а алгоритм оптимизации «организует построение такого вариантного ряда, который приводит к оптимальному решению [13]».

Проведенный анализ демонстрирует эффективность реализуемой математической модели и алгоритма оптимизации. Адекватность полученных сведений наглядно продемонстрирована на основе предложенных компьютерных экспериментов. С помощью проведенных расчетов достигнуто улучшения значения критерия эффективности системы, что делает их актуальными уже на самом начальном этапе проектирования судна. Также с положительными результатами проведен сравнительный анализ адекватности системы. Такие вычисления являются очень важными и для самого Проектанта, ведь появляется возможность предоставить Заказчику более эффективный вариант судна, и тем самым заинтересовать его именно этим проектом.

Предложенное направление оптимизации судна не является единственно верным и зависит исключительно от поставленной задачи.

Список литературы

1. Правила классификации и постройки высокоскоростных судов. СПб.: Российский Морской Регистр Судоходства, 2018. 104 с.
2. Правила классификации и постройки морских судов, Часть I. СПб.: Российский Морской Регистр Судоходства, 2019. 7 с.
3. Изменения в международной морской торговле // Обзор морского транспорта – 2017. - URL: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2017ch1_en.pdf. (дата обращения: 19.01.2025).
4. Гайкович А. И. Проектирование контейнерных судов. Учебное пособие. Л.: изд. ЛКИ, 1984. 27 с.
5. Рюмин С. Н. Курсовое и дипломное проектирование с использованием УИ САПР "Флот". Учебное пособие. СПб: изд. ГМТУ, 2005. 5 с.
6. Буров Ю. П. Оптимизация характеристик контейнерного судна с учетом прогнозируемой цены его постройки и эксплуатации // Морские интеллектуальные технологии. 2020. №48. С. 76.
7. Пашин В. М. Оптимизация судов. Л.: Судостроение, 1983. 8 с.
8. Гайкович А. И. Основы теории проектирования сложных технических систем. СПб.: Моринтех, 2001. 277 с.
9. Рюмин С. Н. Состав и средства создания базовой информационной модели для система автоматизированного проектирования крупнотоннажных судов // Научно-технический сборник РС. 2014. № 37. С. 76.
10. ISO 668:2020 - Series 1 freight containers — Classification, dimensions and ratings //ISO: 2020. - URL: <https://www.iso.org/standard/76912.html> (дата обращения: 19.01.2025)

11. Гайкович А. И. Проектирование корабля с учетом процессов разрушения и восстановления // Научно-технический сборник Российского Морского Регистра Судоходства. 2015. №40/41. С. 31.
12. А. Вильямс SSPA серия испытаний сопротивления грузовых судов. Швеция.: 1969. 81 с.
13. Гайкович А.И. Теория проектирования водоизмещающих судов, Том II. СПб.: Моринтех, 2014. 749 с.

References

1. Rules for the Classification and Construction of High-Speed craft. SPb.: Russian Maritime Register of shipping, 2018. 104 p.
2. Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships, Part I. SPb.: Russian Maritime Register of shipping, 2019. 7 p.
3. Developments in international seaborne trade // Review of maritime transport – 2017. - URL: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2017ch1_en.pdf. (accessed: 19.01.2025).
4. Gaikovich A. I. Design of container ships. Training manual. L.: publ. LSI, 1984. 27 p.
5. Ryumin S. N. Course and diploma design using the AI CAD "Fleet". The training manual. SPb: publ. SMTU, 2005. 5 p.
6. Burov Y. P. Optimization of the characteristics of a container vessel, taking into account the projected cost of its construction and operation // Marine intelligent technologies. 2020. №48. P. 76.
7. Pashin V. M. Optimization of ships. L.: Sudostroenie, 1983. 8 p.
8. Gaikovich A. I. Fundamentals of the theory of designing complex technical systems. St. Petersburg: Morintech, 2001. 277 p.
9. Ryumin S. N. Composition and means of creating a basic information model for a computer-aided design system for large-tonnage vessels // Scientific and Technical collection RS. 2014. № 37. 76 p.
10. ISO 668:2020 - Series 1 freight containers — Classification, dimensions and ratings //ISO: 2020. - URL: <https://www.iso.org/standard/76912.html> (accessed: 19.01.2025)
11. Gaikovich A. I. Ship design taking into account the processes of destruction and restoration // Scientific and technical collection of the Russian Maritime Register of Shipping. 2015. №40/41. 31 p.
12. A. Williams The SSPA cargo liner series resistance, Statens skeppsvarningsant. Sweden.: 1969. 81 p.
13. Gaikovich A.I. Theory of design of displacement vessels, Volume II. SPb: Morintech, 2014. 749 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTORS

Буров Юрий Павлович, соискатель кафедры Проектирования и технологии постройки судов, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: burovyury@yandex.ru

Yuri P. Burov, applicant, Department of Design and Technology of Construction and Ships, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

Кочнев Юрий Александрович, д.т.н., доцент, профессор кафедры Проектирования и технологии постройки и судов, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: tmnkoch@mail.ru

Yuri A. Kochnev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Design and Technology of Construction and Ships, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

Статья поступила в редакцию 04.03.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 04.03.2025; published online 20.06.2025.

УДК 65.01, 629.5.01, 629.12
DOI: 10.37890/jwt.vi

Роль и место научных и проектных организаций судостроительной отрасли в научном сопровождении проектов освоения морских месторождений

К.И. Колосова¹

ORCID: 0009-0004-1100-2690

А.В. Лобанов²

С.В. Вербицкий¹

¹*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,*

г. Санкт-Петербург, Россия

²*ПАО «Газпром», г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В статье рассматривается роль и место научных и проектных организаций судостроительной отрасли России. В качестве примеров представлены несколько компаний, которые непосредственно участвуют в научном и научно-техническом сопровождении судостроительной и нефтегазовой отраслей. Рассматриваемые в работе компании вносят ощутимый вклад в сложные процессы освоения морских месторождений, а также осуществляют контроль за обеспечением безопасности выполняемых работ на месторождениях континентального шельфа. В современных условиях результаты деятельности представленных в статье компаний являются критически важными с точки зрения обеспечения импортонезависимости Российской Федерации.

Кроме того, в работе приведена информация о российских мультидисциплинарных научных и отраслевых центрах, а также о технологических научных центрах отечественных нефтегазовых компаний. Особое внимание уделено описанию функциональных областей таких центров, что позволяет получить представление об их роли, задачах и значимости в условиях быстроменяющегося рынка и новых технологических вызовов.

В результате исследования сделаны выводы о том, как эффективное взаимодействие между различными научными и проектными организациями способствует достижению высоких результатов в исследованиях и при разработке инновационных технологий в столь важных отраслях экономики, как судостроение и топливно-экономический комплекс. Интеграция результатов совместной деятельности научных и производственных предприятий может служить важным фактором, способствующим устойчивому развитию и технологическому прогрессу Российской Федерации в сфере судостроения и нефтегазодобычи.

Ключевые слова: судостроительная отрасль, континентальный шельф, нефтегазовые компании, научный центр, научное сопровождение, проектное бюро.

The role and place of scientific and design organizations of the shipbuilding industry in the scientific support of offshore field development projects

Karina I. Kolosova¹

ORCID: 0009-0004-1100-2690

Alexey V. Lobanov²

Sergey V. Verbitsky¹

¹*St. Petersburg state marine technical university, Saint Petersburg, Russia*

²*PJSC Gazprom, Saint Petersburg, Russia*

Abstract. The article deals with the role and place of scientific and design organizations in the Russian shipbuilding industry. Several companies that are directly involved in scientific and scientific-technical support of the shipbuilding and oil and gas industries are presented as examples. The companies considered in the paper make a tangible contribution to the complex processes of offshore fields development, as well as control the safety of works performed on the continental shelf fields. In modern conditions, the results of the activities of the companies presented in this article are critical in terms of ensuring import independence of the Russian Federation.

In addition, the paper provides information on Russian multidisciplinary research and industry centers, as well as on technological research centers of domestic oil and gas companies. Special attention is paid to the description of the functional areas of such centers, which provides an insight into their role, tasks and significance in the context of a rapidly changing market and new technological challenges.

The study draws conclusions on how effective interaction between different scientific and design organizations contributes to achieving high results in research and in the development of innovative technologies in such important sectors of the economy as shipbuilding and fuel and economic complex. Integration of the results of joint activities of scientific and production enterprises can serve as an important factor contributing to sustainable development and technological progress of the Russian Federation in shipbuilding and oil and gas production.

Keywords: shipbuilding industry, continental shelf, oil and gas companies, scientific center, scientific support, design bureau.

Введение

Российская судостроительная отрасль - одна из самых технологически продвинутых в мире. В частности, Российская Федерация имеет устойчивые позиции в таких областях судостроения, как проектирование и строительство атомных ледоколов, научно-исследовательских судов, судов смешанного (река-море) плавания. Функционирование промышленных предприятий отрасли требует высокого уровня научного и технологического потенциала, поэтому спрос на выполнение работ в научно-технической области постоянно растет. Национальные научные институты и проектные бюро судостроительной отрасли постоянно ведут разработку передовой техники и технологий. [1]

Актуальность вопросов развития и совершенствования российского судостроения с точки зрения освоения потенциала ресурсов континентального шельфа определяется рядом факторов:

- **необходимостью удовлетворения потребностей нефтегазовых компаний:** судостроительные предприятия должны в полной мере выполнить запросы компаний, осваивающих арктический континентальный шельф;
- **производство высокотехнологичных судов и судового оборудования** с использованием уникальных передовых технологий (строительство морских платформ и судов технологического флота и вспомогательного назначения для освоения месторождений нефти и газа на континентальном шельфе, в том числе ледоколов и крупнотоннажных судов для транспортировки углеводородов из арктических недр);
- **разработки инновационных технологий** строительства морских сооружений, транспортировки и монтажа высокотехнологичных морских комплексов, создания технологий определения и снижения ледовых нагрузок, методов всестороннего обеспечения экипажей судов и персонала морских нефтегазовых сооружений в ледовых условиях, а также технологий противопожарной защиты и современного аварийно-спасательного оборудования.

В настоящее время судостроительная отрасль решает следующие масштабные задачи:

- рационализация развития мощностей судостроительных заводов для достижения экономической эффективности с учетом долгосрочной производственной загрузки;
- создание комплексной системы технического сопровождения для обслуживания, ремонта, модернизации, утилизации и развития промышленной инфраструктуры;
- переход от импорта морского оборудования к его производству внутри страны и снижение зависимости от иностранных поставщиков;
- разработка технологических решений для ускорения производства уникальных и инновационных морских систем и проектов;
- создание научно-технической базы по основным направлениям судостроения для обеспечения конкурентоспособности отрасли.

Цель исследования – рассмотрение места и роли научных и проектных организаций в судостроительной отрасли, на стыке отраслей, а также в мультидисциплинарных исследованиях. В работе также рассмотрены организации судостроительной отрасли, участвующие в обеспечении безопасности работ на континентальном шельфе и в научном сопровождении проектов освоения месторождений континентального шельфа.

Для достижения этой цели в качестве основных **задач** были определены: рассмотрение роли научных исследовательских организаций отрасли, первичный анализ их деятельности и их основных функциональных задач.

Методами, на основании которых строится концепция изложения материала данной работы, являются следующие: системнологический, дедуктивный, статистический.

Роль отраслевых организаций в научном сопровождении проектов освоения морских месторождений

Ключевая роль научных и проектных организаций в судостроительной отрасли – разработка новых технологий для будущего строительства и эксплуатации судов и морских сооружений в Арктике¹, например, создание технологий строительства крупноблочных и долговечных морских сооружений, выполнение расчетов сложной транспортировки и монтажа, рассмотрение вопросов и внедрение технологий снижения ледовой нагрузки, производство спасательного оборудования для моряков в интересах обеспечения их работы случаям чрезвычайных ситуаций и создание систем для предотвращения взрывов и пожаров.

Развитие новых технологий строительства и эксплуатации судов и морских сооружений в Арктическом регионе включает такие направления, как:

- проектирование и технологии строительства крупнотоннажных морских сооружений (например, в Крыловском государственном научном центре разработана типовая система проектирования добычных платформ, учитывающая особенности арктических условий);
- инновационные технологии для выполнения сложных транспортных и монтажных операций (например, создание концептуального проекта морского бурового судна класса Arc7 для обеспечения эффективного бурения в арктических условиях);

¹ Крыловский государственный научный центр : Судостроительная наука – Развитию Арктики : [сайт]. - URL: <https://krylov-centre.ru/press/press-about-ksrc/407/> (дата обращения: 06.12.2024).

- инновационные конструкционные материалы (на основе современных физических представлений и оригинальных расчетных методик разработан проект новой редакции требований правил Российского морского регистра судоходства к ледовым усилениям);
- технология снижения ледовых нагрузок (в рамках научно-исследовательского проекта разработана технология снижения ледовой нагрузки за счет моделирования и изменения формы морских сооружений в целях защиты конструкций и управления ледовой обстановкой);
- средства спасения персонала в ледовых условиях (например, разрабатываются современные спусковые эвакуационные системы, новые типы движителей и корпуса спасательных шлюпок);
- технологии предотвращения взрывов и пожаров (в Крыловском государственном научном центре создан Арктический инженерный центр, отвечающий за разработку проектных решений судов и сооружений для освоения арктического континентального шельфа и Северного морского пути);
- научно-техническое сопровождение проектирования, строительства и эксплуатации судов различных типов и назначений;
- разработка новых проектов судов и морских сооружений для освоения арктического континентального шельфа и Северного морского пути [1].

Отраслевые научно-исследовательские и проектные организации судостроительной отрасли

Далее представлен обзор основных организаций судостроительной отрасли, которые участвуют в научном сопровождении проектов освоения морских месторождений и обеспечении безопасности работ на континентальном шельфе Российской Федерации, а также направления выполняемых ими работ.

1. ФАУ «Российский морской регистр судоходства»

Российский морской регистр судоходства (РС) — государственный орган, осуществляющий технический надзор и классификацию морских судов. Контроль за соблюдением правил осуществляет Министерство транспорта Российской Федерации.²

Основной целью деятельности РС является повышение стандартов безопасности человеческой жизни на море, безопасная транспортировка грузов по морю и внутренним водным путям, разработка мер и стандартов по предотвращению загрязнения окружающей среды.

Направления деятельности Российского морского регистра судоходства:

- анализ технической документации, технический надзор за судами в процессе строительства и эксплуатации, выдача документов, сертификатов и нормативных документов на суда и плавучие сооружения;
- измерения судов и плавучих сооружений;
- технический контроль для обеспечения соблюдения положений контрактов в области судостроения;
- сертификация промышленной продукции и производственных площадок по вопросам управления системами менеджмента качества, экологического менеджмента, охраны труда и промышленной

² Российский морской Регистр судоходства: [сайт]. — URL: <https://rs-class.org/>

безопасности в соответствии с требованиями международных стандартов ISO.

- мониторинг контейнеров для перевозки генеральных грузов, температурных контейнеров, танк-контейнеров, контейнеров-поддонов, морских контейнеров и т. д.³

2. Конструкторские бюро отечественного подводного кораблестроения

К ним, например, относятся АО «СПМБМ «Малахит», АО «ЦКБ МТ «Рубин», АО «ЦКБ «Лазурит».

АО «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит» (АО «СПМБМ «Малахит») – ведущая российская проектная компания, специализирующаяся на проектировании морской техники. [2]

Основными направлениями деятельности этой организации являются проектирование, строительство и испытание атомных и дизельных подводных лодок.⁴

Компания специализируется на проектировании подводных лодок и подводного технологического оборудования для арктических транспортных систем, морских нефтяных платформ, а также исследований и работ на континентальном шельфе.

Направления деятельности **АО «Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин» (АО «ЦКБ МТ «Рубин»):**

- разработка проектов подводных лодок для военно-морского флота;
- проектирование морских сооружений различного назначения;
- надзор за подготовкой к ремонту и модернизации объектов освоения морских месторождений;
- подготовка проектов строительства зданий и сооружений;
- проектирование, изготовление, испытания и поставка опытных и серийных образцов судового комплектующего оборудования. [3]

Компания специализируется на разработке и строительстве морских ледостойких платформ и технических средств для разработки углеводородных ресурсов на континентальном шельфе.

Кроме того, АО «ЦКБ МТ «Рубин» является головным предприятием АО «Объединенная судостроительная акционерная компания» (ОСК), которое выполняет разработку проектов освоения нефтяных и газовых месторождений на континентальном шельфе.⁵

АО «Центральное конструкторское бюро «Лазурит» (АО «ЦКБ «Лазурит») осуществляет разработку и техническое сопровождение проектов и технической документации в области судостроения.

Основными направлениями деятельности компании являются:

- подводные лодки и морские спасательные суда;
- морские буровые платформы и суда технического флота для обустройства месторождений;
- блочные дизельные, газотурбинные и атомные плавучие электростанции;
- суда гражданского назначения, в том числе рыбопромысловые и транспортные;
- медицинская баротехника.⁶

³ О Регистре: Основные цели и полномочия : [сайт]. - URL: <https://rs-class.org/ru/register/about/>.

⁴ ОСК: «Малахит» - морское бюро машиностроения : [сайт]. - URL: <http://www.malachite-spb.ru/> (дата обращения: 06.12.2024).

⁵ АО «ЦКБ МТ «Рубин» : [сайт]. - URL: <https://www.ckb-rubin.ru/glavnaja/>.

⁶ АО «ЦКБ «Лазурит»: Центрально конструкторское бюро "Лазурит" [сайт]. - URL: <https://cdb-lazurit.ru/>.

Компания является исключительным поставщиком для ООО «ССК «Звезда».

3. Корпоративный научно-технический центр морских нефтегазовых ресурсов ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий «Газпром ВНИИГАЗ»

Корпоративный центр осуществляет научное обеспечение высокотехнологичных проектов морской нефтегазодобычи.

Главные направления осуществляемой ВНИИГАЗ деятельности:

- освоение углеводородных ресурсов на континентальном шельфе;
- промышленная безопасность;
- развитие ресурсной базы газовой отрасли, включая выработку рекомендаций по наиболее перспективным участкам для разведки новых ресурсов углеводородов;
- промышленная добыча и подготовка углеводородного сырья к транспортировке;
- эксплуатация технологических установок;
- вовлечение в разработку нетрадиционных ресурсов газа;
- развитие газового и газоконденсатного комплекса, разработка проектов освоения ключевых газовых и газоконденсатных ресурсов;
- научно-методическое обеспечение научных исследований по перечисленным выше направлениям и проектам, реализуемых ПАО «Газпром» в области добычи, транспортировки, подземного хранения, переработки и добычи газа;
- подготовка и повышение квалификации кадров. [4]

4. ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Научное учреждение, осуществляющее фундаментальные научные исследования в области морской деятельности, в том числе в сфере судостроения, а также смежных видов отраслевой деятельности.

Основные направления работ Крыловского научного центра:

- проектирование и строительство современных боевых кораблей, морских сооружений и судов гражданского флота;
- ядерная, радиационная и экологическая безопасность атомных сооружений;
- акустика судов;
- мореходные качества;
- морская судовая энергетика;
- гидродинамика и гидромеханика;
- защита от электромагнитного излучения и электромагнитная совместимость на кораблях и судах;
- прочность конструкций и надежность морских сооружений. [5]

Кроме того, центр проводит экспертизу практически всех новых проектов отечественных кораблей и судов, а также разрабатывает кораблестроительные программы.

5. Центральный научно-исследовательский институт морского флота

(АО «ЦНИИМФ») – научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота, ведущее научное учреждение в области морского транспорта Российской Федерации.

АО «ЦНИИМФ» обеспечивает развитие транспортных технологий и управление в сфере морского транспорта, а также проводит технологические и экономические исследования в судостроительной области.

Основными сферами деятельности ЦНИИМФ являются:

- техническая эксплуатация и ремонт флота, охрана труда на морском транспорте;
- безопасность навигационное и гидрографическое обеспечение и системы связи;
- организация судоходства и технология выполнения портовых и гидротехнических работ;
- экономическое и экологическое сопровождение в области морского транспорта;
- оценка процесса развития и планирования строительства флота и вспомогательных портов. [6]

В настоящее время институт участвует в реализации следующих научно-исследовательских проектов:

- развитие системы навигационного обеспечения Северного морского пути и систем управления ледовой обстановкой;
- разработка требований по защите моряков и портовых рабочих, находящихся в портах, во внутренних водах и в территориальном море, в случае аварии на судах и плавучих средствах, перевозящих ядерные установки или радиоактивные источники;
- разработка концептуальных проектов судов;
- совершенствование инфраструктуры морского транспорта в Арктике для повышения эффективности и безопасности транспортных операций на Северном морском пути;
- разработка инновационных проектов грузовых судов арктического плавания, предназначенных для доставки грузов в арктические порты и на необорудованное побережье на трассах Северного морского пути;
- реализация проектов, связанных с использованием газомоторного топлива в качестве судового топлива различного назначения;
- разработка мер по снижению рисков и последствий морских аварий и инцидентов с судами, перевозящими радиоактивные вещества, разработка мер по ликвидации последствий аварий, защите моряков, населения и окружающей среды.

6. Научно-технический центр ПАО «Газпром нефть»

Основной целью деятельности Научно-технического центра ПАО «Газпром нефть» (ООО «НТЦ «Газпромнефть», дочернее предприятие Группы Газпром нефть) является повышение эффективности добычи нефти за счет внедрения новых технологий.

Основные направления деятельности компании:

а) разработка крупноформатных цифровых 2D и 3D моделей, на основании обработки и которых могут быть приняты следующие решения:

- моделирование гидроразрыва пласта (ГРП) и выноса песка;
- анализ процесса изменения пластового давления и условий закачки;
- выбор наиболее эффективного сценария развития стратегии освоения месторождений континентального шельфа;
- оценка запасов углеводородов и формирование ресурсной базы;
- детальный анализ структуры горных пород и распределения полезных ископаемых посредством геологического моделирования месторождений нефти и газа;

- оценка геодинимических изменений, влияющих на фильтрационные свойства и емкость разрабатываемых пород;
 - проекты бурения разведочных и эксплуатационных скважин, включая выбор наиболее подходящего оборудования;
 - топографическое отображение промышленных предприятий и линейных сооружений для строительства.
- б) техническое сопровождение разработки проекта:
- сопровождение и актуализация цифровых моделей систем оборудования с использованием методических рекомендаций по управлению крупными проектами;
 - поддержка разработки алгоритмов расчета себестоимости;
 - управление капитальными и эксплуатационными затратами в стоимостном инжиниринге.
- в) создание и совершенствование программного обеспечения и цифровых продуктов для:
- оценки наличия заместителей в геологических структурах;
 - учета и управления добычей нефти, газа и газового конденсата;
 - выполнения инженерных расчетов в области строительства;
 - разработки гидродинамических моделей;
 - обеспечения функционирования систем управления информацией;
 - автоматизации бизнес-процессов в топливно-энергетическом комплексе;
 - прогноза свойств пластовых флюидов;
 - технической поддержки на протяжении всего цикла строительства скважин.
- г) работа с цифровыми базами данных:
- оптимизация и отладка баз данных в целях повышения их производительности, разработки дополнительных модулей, интеграции с другими цифровыми системами и улучшения их структуры;
 - управление базами данных с использованием новейших технологий безопасности, включая резервное копирование данных, контроль доступа, аутентификацию и обеспечение целостности данных;
 - организация и анализ данных для выявления закономерностей, прогнозирования, принятия обоснованных бизнес-решений и повышения эффективности производства;
 - создание и ведение баз данных на основе данных, получаемых от систем сбора данных (включая ручной и автоматизированный ввод данных) в интересах определения геологических, технических и иных параметров.
- д) разработка различных программных продуктов:
- разработка и выбор способов передачи данных с буровых платформ и из ядерных лабораторий в хранилища файлов;
 - повышение производительности с учетом новых технологий в целях обеспечения передачи данных между различными базами данных или версиями программного обеспечения;
 - обучение и консультирование по внедрению программного обеспечения и баз данных;
 - интеграция, установка и настройка программного обеспечения для обеспечения соответствия техническим требованиям, применяемым при выполнении геологических работ;
- е) подготовка и реализация проектов цифровой трансформации в нефтедобывающем секторе (редизайн бизнес-процессов, стратегическое планирование, развитие информационных решений, анализ и тестирование ИТ-систем, оптимизация процессов и повышение эффективности).

ж) разработка программных продуктов:

- создание программного обеспечения для разработки сложных месторождений;
- тестирование и разработка программного обеспечения с использованием различных языков программирования (C#, Java, PHP, Python, .NET Core);
- разработка программного обеспечения с использованием численных и аналитических моделей течения в пористых средах и трубах, математических методов и алгоритмов для геологии, разработки, бурения и эксплуатации скважин;
- разработка программных решений с учетом географического распределения;
- определение необходимости внедрения дополнительных ИТ-решений в систему управления технологиями;
- управление знаниями и автоматизация внутренних бизнес-процессов;
- создание программного обеспечения для автоматизации процессов, искусственного интеллекта и моделирования данных в сфере строительства;

з) создание цифровых двойников наземной и подземной инфраструктуры углеводородных ресурсов.⁷

7. ООО «Газпром проектирование» - дочернее общество ПАО «Газпром», инженерный центр Группы Газпром, решающий задачи реализации нефтегазовых проектов на континентальном шельфе.

Основным направлением деятельности данной компании является проектирование и строительство морских объектов добычи нефти и газа.

Одним из главных направлений работы компании является разработка комплексных планов развития морской и наземной нефтегазовой инфраструктуры на протяжении всего жизненного цикла. Компания выполняет весь цикл работ от разработки фундаментальных технологических концепций и решений, технических исследований и начальных проектных работ до строительства и ввода объектов в эксплуатацию.⁸

«Газпром проектирование» участвует в строительстве инфраструктуры для новых крупных нефтяных месторождений ПАО «Газпром», в том числе на континентальном шельфе российской Арктики. Компания является главным научным центром в области освоения месторождений. [7]

Основные направления деятельности научных и проектных организаций в судостроительной и нефтегазовой отраслях, их место в отрасли и в системе мультидисциплинарных исследований представлены на рисунках 1-4.

⁷ Газпром нефть : О компании : [сайт]. - URL: <https://ntc.gazprom-neft.ru/company/about/>.

⁸ Газпром морские проекты : О компании : [сайт]. - URL: <https://seaprojects.gazprom.ru/about/>.

Мультидисциплинарные научные центры

	<p>ДАНИИ</p> <ul style="list-style-type: none"> - исследования в Арктике и Антарктике в области океанографии, льда, океана и вод суши, метеорологии, взаимодействия океана и атмосферы, геофизики, морского ледовения, гляциологии, полярной географии, гидрохимии, водных ресурсов, экологии, взаимодействия кортуса судна и других инженерных сооружений со льдом, полярной медицины 	<ul style="list-style-type: none"> - развитие флота и портов; - проектирование судов; - технологии перевозок грузов и экономика морского флота; - техническая эксплуатация судов и портовой перестроочной техники; - радиационная безопасность и охрана труда; - развитие арктической морской транспортной системы ледокольным и атомным флотом; - обеспечение безопасности мореплавания; - региональные системы управления движением судов; - охрана окружающей среды, планы ликвидации разливов нефти
	<p>ЦМО</p> <ul style="list-style-type: none"> - гидрофизические и акустические исследования; - прогнозные динамики экосистем, изучение их продукционных свойств, управления процессами их эксплуатации и разработки технологических процессов в морской аквакультуре; - разнородные математические модели морских популяций и сообществ рбм, животных, моллюсков; - создание автоматизированных систем экологического исследования и мониторинга водных сред 	<ul style="list-style-type: none"> - глобальное потепление климата и реакция на него - криологозоны; - геотеплофизика - криологозоны; - закономерности распространения и развития криогенных процессов и явлений; - физические, физико-технические, геохимические, гидрологические и геотехнические процессы и их воздействие на сооружения и объекты в условиях многолетнемерзлых грунтов
	<p>ЦМО</p> <ul style="list-style-type: none"> - фундаментальные научные исследования и прикладные разработки в области океанологии, изыскательские и морские работы, связанные с освоением Мирового океана 	<ul style="list-style-type: none"> - экологические исследования и мониторинг; - инженерные изыскания на шельфе; - картография и ГИС-обеспечение; - научные исследования и разработки; - образовательные проекты
<ul style="list-style-type: none"> - исследования процессов, определяющих изменчивость ледовых полей и взаимодействие атмосферы и океана; - разработка научных основ развития океанографии, совершенствование моделей экосистем и циркуляции вод; - создание измерительной гидрофизической аппаратуры, обеспечение морскими измерительными приборами; - комплексные междисциплинарные исследования процессов формирования и эволюции экосистем морей 	<p>ЦМИ МГУ</p> <ul style="list-style-type: none"> - гидрофизические и акустические исследования; - прогнозные динамики экосистем, изучение их продукционных свойств, управления процессами их эксплуатации и разработки технологических процессов в морской аквакультуре; - разнородные математические модели морских популяций и сообществ рбм, животных, моллюсков; - создание автоматизированных систем экологического исследования и мониторинга водных сред 	<ul style="list-style-type: none"> - глобальное потепление климата и реакция на него - криологозоны; - геотеплофизика - криологозоны; - закономерности распространения и развития криогенных процессов и явлений; - физические, физико-технические, геохимические, гидрологические и геотехнические процессы и их воздействие на сооружения и объекты в условиях многолетнемерзлых грунтов

Рис. 1. Области деятельности мультидисциплинарных научных центров

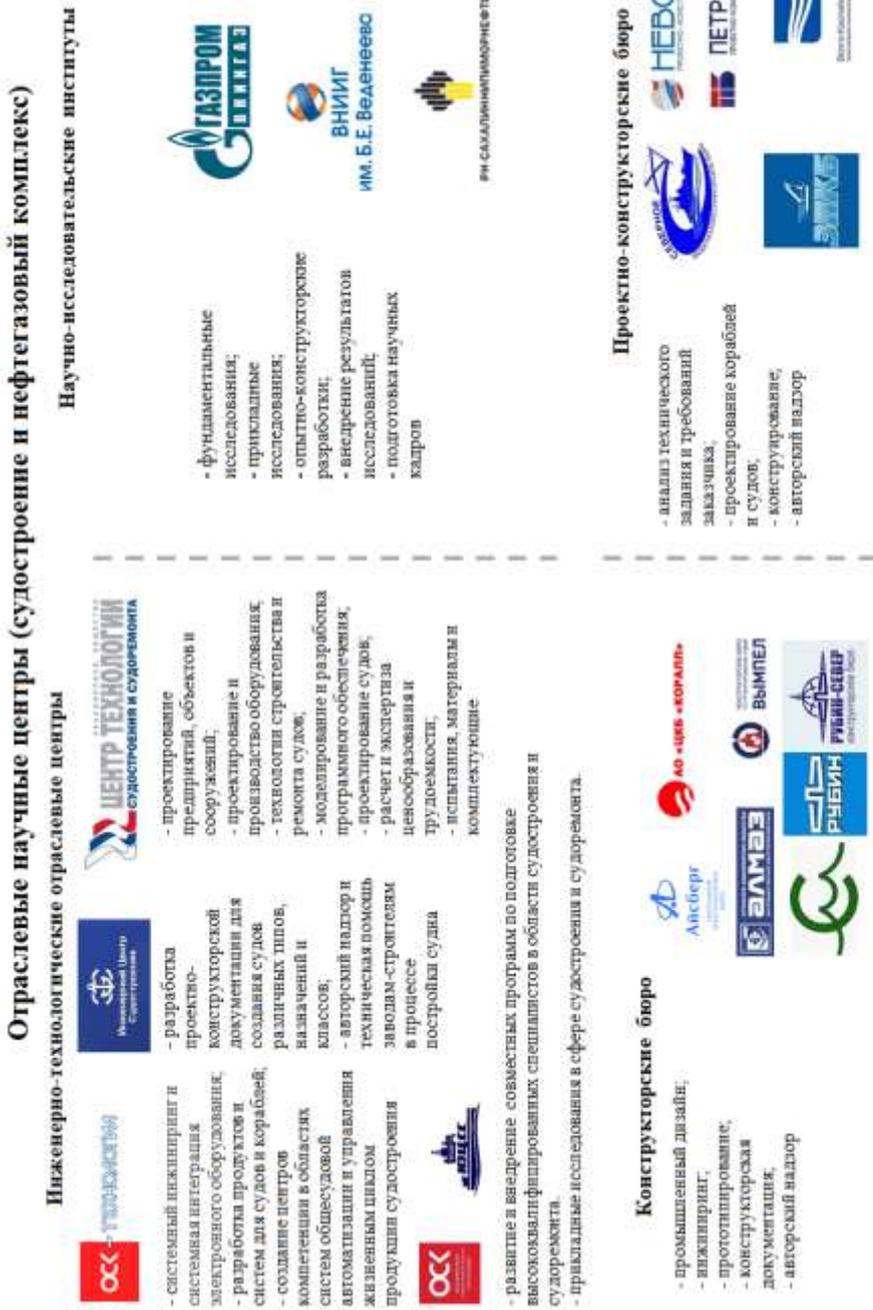


Рис. 2. Функциональные задачи отраслевых центров

Технологические научные центры нефтегазовых компаний

 <p>Газпром нефть</p> <p>Газпромнефть НТЦ</p>	 <p>РОСНЕФТЬ</p> <p>Корпоративный научно-проектный комплекс</p>
<ul style="list-style-type: none"> - развитие новых технологий в нефтедобыче; - инжиниринг и экспертиза проектов разведки и добычи углеводородного сырья; - анализ и мониторинг разработки нефтяных месторождений и геологоразведочных работ; - геологическое и гидродинамическое моделирование; - технологическая поддержка и оперативный контроль бурения 	<ul style="list-style-type: none"> - НИОКР; - региональная геология, геологоразведочные работы; - сейсморазведочные работы; - лабораторные исследования; - разработка проектно-технологической документации; - подсчет запасов; - концептуальное проектирование; - проектирование строительства скважин; - проектно-изыскательские работы
 <p>ЛУКОЙЛ</p> <p>ЛУКОЙЛ-Инжиниринг</p>	 <p>НОВАТЭК</p> <p>НОВАТЭК Научно-технический центр</p>
<ul style="list-style-type: none"> - геолого-экономическая оценка и аудит запасов углеводородов; - НИОКР в области поиска, разведки, разработки, обустройства, добычи углеводородного сырья, повышения нефтеотдачи, бурения, строительства и эксплуатации скважин; - изучение геологического строения, оценка ресурсов; - разработка технико-экономического обоснования освоения месторождений, приобретение прав пользования участками недр; - исследование керна, пластовых флюидов и технологических жидкостей; - интерпретация гидродинамических, промыслово-геофизических и литва торных исследований скважин; - инженерно-геологические изыскания, топографо-геодезические съемки 	<ul style="list-style-type: none"> - внедрение современных технологий сбора и интерпретации данных о геологических объектах, а также проектирование, моделирование и научно-техническое сопровождение разработки, бурения и обустройства; - повышение эффективности воспроизводства МСБ, строительства скважин и интенсификации притока, разработки месторождений и добычи углеводородного сырья; - проведение полного цикла исследований горных пород, проб углеводородных флюидов, материалов и реагентов для строительства скважин, исследования окружающей среды; - междисциплинарные исследования, ранее выполнявшиеся только зарубежными подрядчиками

Рис. 3. Функциональные задачи технологических научных центров нефтегазовых компаний

Заключение

В России судостроительная промышленность включает 45 проектных организаций и научных центров, более 50 верфей и судоремонтных заводов, а также свыше 200 предприятий-поставщиков комплектующих. Особое место среди них занимают компании, осуществляющие проектирование и строительство гражданской морской техники.

Судостроительная отрасль обладает значительным научно-техническим и производственным потенциалом, который оказывает существенное влияние на технологическое развитие связанных с судостроением секторов промышленности.

В рамках исследования рассмотрены место и роль научных и проектных организаций судостроительной и нефтегазовой отраслей, а также задачи и функции этих организаций.

В ходе работы сформирована иерархическая функциональная схема, отражающая области деятельности научных и проектных организаций, осуществляющих деятельность в интересах обеспечения нефтегазовых компаний.

Строительство современных судов и океанотехники критически важно для научного прогресса страны, открытия и освоения новых месторождений полезных ископаемых, эффективного предупреждения экологических катастроф и своевременного получения информации о потенциальных природных бедствиях.

Проведенный анализ показал, что научные и проектные организации судостроительной отрасли вносят значительный вклад в научное сопровождение проектов разработки морских ресурсов и обеспечение безопасности работ на континентальном шельфе Российской Федерации.

Список литературы

1. Алексашин А. А., Половинкин В. Н. / Современное состояние и перспективы развития ледового судостроения и судоходства // Кораблестроение для Арктики. - 2015. - №1 (17). - С. 18-20. - Текст: непосредственный.
2. ОСК: акционерное общество «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит»: [сайт]. - URL: <https://www.aosk.ru/companies/oao-spmbm-malakhit/> (дата обращения: 06.12.2024).
3. Вильнит И. В. / Годовой отчет АО «ЦКБ МТ «Рубин» за 2016 // Направления развития АО «ЦКБ МТ «Рубин» . - 2016. - С. 24-27. - URL: https://ckb-rubin.ru/fileadmin/editor/Корп_документы/Годовoi_отчjot_2016.pdf (дата обращения: 06.12.2024).
4. Григорьев Б. А. / Материалы II международной конференции ПАО «Газпром». Путь инноваций и новые технологии в газовой промышленности (INNOTECH-2018) // Вести газовой науки. - 2019. - С. 25-56. – Текст: непосредственный.
5. Большая российская энциклопедия: Крыловский государственный научный центр: [сайт]. - URL: <https://bigenc.ru/c/tsentral-nyi-nauchno-issledovatel-skii-institut-bed956> (дата обращения: 06.12.2024).
6. Буянов С. И. / Концепция развития АО «ЦНИИМФ» на среднесрочную перспективу // Сборник научных трудов АО «ЦНИИМФ». - 2024. - С. 6-8. – Текст: непосредственный.
7. Газпром морские проекты: Управляющей организацией ООО «Газпром морские проекты» назначено ООО «Газпром проектирование»: [сайт]. — URL: <https://seaprojects.gazprom.ru/press/news/2024/11/94/> (дата обращения: 06.12.2024).
8. Рувикс: Национальный научный центр морской биологии имени А. В. Жирмунского: [сайт]. - URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Национальный_научный_центр_морской_биологии_имени_А._В._Жирмунского (дата обращения: 20.12.2024).
9. Г. А. Баскаков и др. / Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт - центр российской полярной науки. Проблемы Арктики и Антарктики: Сб. ст.: (К 75-летию ААНИИ). - СПб., 1995. Вып. 70. - С. 6-32. – Текст: непосредственный.
10. Всероссийский фестиваль науки: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Морской гидрофизический институт РАН»: [сайт]. - URL: <https://festivalnauki.ru/o-festivale/participants/federalnoe-gosudarstvennoe-byudzhetnoe->

- uchrezhdenie-nauki-morskoy-gidrofizicheskiy-institut-ran/index.php (дата обращения: 20.12.2024).
11. Марина М. М. / *Фундаментальная и прикладная гидрофизика // 70 лет Институту океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук*. - 2016. - С. 100-101. Текст: непосредственный.
 12. Экология: Институты российской академии наук: [сайт]. - URL: https://www.spsl.nsc.ru/win/nelbib/ecolos/pricl_institute.htm#:~:text=Институт%20проблем%20морских%20технологий%20ДВО,неоднородностей%20в%20океане%20акустическими%20методами (дата обращения: 20.12.2024).
 13. Рожик М. В. / *Экономические науки // Повышение конкурентоспособности предприятия в нефтегазовой отрасли на примере ПАО «НК «Роснефть»*. - 2021.- vol. 9-1 (60) - С. 180-185. - Текст: непосредственный.
 14. Лобанов А. В. Методика разработки программы строительства океанотехники для освоения месторождений Обско-Тазовского газоносного района: специальность 2.5.18 «Проектирование и конструкция судов»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лобанов Алексей Валериевич; Санкт-Петербургский государственный морской технический университет. – Санкт-Петербург, 2022. – 190 с. – Библиогр.: с. 146–158. – Текст: непосредственный.

References

1. Aleksashin A. A., Polovinkin V. N. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya ledovogo sudostroeniya i sudokhodstva [Current state and prospects of development of ice shipbuilding and shipping] Korablestroenie dlya Arktiki*. 2015, no 1(17), pp. 18-20, (In Russ).
2. USC [aktsionernoe obshchestvo "Sankt-Peterburgskoe morskoe byuro mashinostroeniya "Malakhit"]. Available at: <https://www.aosk.ru/companies/oao-spmbm-malakhit/> (accessed 06.12.2024).
3. Vilnit I. V. *Godovoy otchet AO CKB MT "Rubin" za 2016 [Annual report of JSC CCB MT Rubin for 2016]*. 2016. pp. 24-27. - Available at: https://ckb-rubin.ru/fileadmin/editor/Korp_dokumenty/Godovoi_otchjot_2016.pdf (accessed 06.12.2024).
4. Grigor'ev B. A. *Materialy II mezhdunarodnoi konferentsii PAO «Gazprom» «Put' innovatsii i novye tekhnologii v gazovoi promyshlennosti» (INNOTECH-2018) [Proceedings of the II International Gazprom PJSC Conference "The Path of Innovation and New Technologies in the Gas Industry" (INNOTECH-2018)] Vesti gazovoi nauki*, 2019, pp. 25-56. (In Russ).
5. *The Great Russian Encyclopedia*. Krylovskiy gosudarstvennyy nauchnyy tsentr. - Available at: <https://bigenc.ru/c/tsentral-nyi-nauchno-issledovatel-skii-institut-bed956> (accessed 06.12.2024).
6. Buyanov S. I. *Kontseptsiya razvitiya AO «TSNIIMF» na srednesrochnuyu perspektivu [The concept of development of JSC "TSNIIMF" for the medium term] Sbornik nauchnykh trudov AO «TSNIIMF»*. 2024. - pp. 6-8. - Available at: <https://cniimf.ru/upload/iblock/41d/z2ji6472x89jhydmkn0xtfmhez3sa96u/Sbornik-nauchnykh-trudov-TSNIIMF-2024-g.pdf> (accessed 20.12.2024).
7. *Gazprom marine projects. Upravlyayushchey organizatsiyey OOO Gazprom morskije proekty naznacheno OOO «Gazprom proektirovanie»*. - Available at: <https://seaprojects.gazprom.ru/press/news/2024/11/94/> (accessed 06.12.2024).
8. Ruviki [Natsional'nyy nauchnyy tsentr morskoy biologii imeni A. V. Zhirmunskogo]. Available at: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Natsional'nyy_nauchnyy_tsentr_morskoy_biologii_imeni_A._V._Zhirmunskogo (accessed 20.12.2024).
9. *Arkticheskii i Antarkticheskii nauchno-issledovatel'skii institut - tsentr rossiiskoi polyarnoi nauki / G. A. Baskakov i dr. Problemy Arktiki i Antarktiki: Sb. st.: (K 75-letiyu AANII)*. - SPb., 1995. Vyp. 70. - pp. 6-32. (In Russ).
10. *Morskoy gidrofizicheskiy institut RAN [All-Russian Science Festival [Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe uchrezhdenie nauki]*. Available at: <https://festivalnauki.ru/o-festivale/participants/federalnoe-gosudarstvennoe-byudzhetnoe-uchrezhdenie-nauki-morskoy-gidrofizicheskiy-institut-ran/index.php> (accessed: 20.12.2024).
11. Marina M. M. *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika. 70 let Institutu okeanologii im. P.P. Shirshova Rossiiskoi akademii nauk [Fundamental and Applied Hydrophysics. 70 years*

- of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences]. 2016, pp. 100-101. (accessed 20.12.2024).
12. Ecology [Instituty rossiyskoy akademii nauk]. URL: https://www.spsl.nsc.ru/win/nelbib/ecolos/pricl_institute.htm: ~:text=Institut%20problem%20morskikh%20tekhnologiy%20DVO,neodnorodnostey%20v%20okeane%20akusticheskimi%20metodami (accessed 20.12.2024).
13. Rozhik M. V. Ehkonomicheskie nauki [Economic Sciences]. Povyshenie konkurentosposobnosti predpriyatiya v neftegazovoi otrasli na primere PAO «NK Rosneft» [Increasing the competitiveness of enterprises in the oil and gas industry on the example of PJSC NK Rosneft]. 2021, vol. 9-1 (60), pp. 180-185. (In Russ).
14. Lobanov A. V. Metodika razrabotki programmy stroitel'stva okeanotekhniki dlya osvoiniya mestorozhdenii Obsko-Tazovskogo gazonosnogo raiona [Methodology for developing a program of ocean engineering construction for the development of fields in the Ob-Tazovskoye gas-bearing region] Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. St. Petersburg state marine technical university. St. Petersburg, 2022. – 190 p. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Колосова Карина Игоревна, студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», 190121, Санкт-Петербург, Лоцманская улица, 10-14, e-mail: karinamkolos@mail.ru

Karina I. Kolosova, student, St. Petersburg state marine technical university, 10-14, Lotsmanskaya st, St. Petersburg, 190121, e-mail: karinamkolos@mail.ru

Лобанов Алексей Валериевич, к.т.н., начальник отдела, ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, Российская Федерация), Санкт-Петербург, Высотная ул., 1, e-mail: a.lobanov.info@gmail.com

Alexey V. Lobanov, PhD in Engineering, Head of the Department, PJSC Gazprom (Saint Petersburg, Russian Federation), 1, Vysotnaya, St. Petersburg, e-mail: a.lobanov.info@gmail.com

Вербицкий Сергей Владимирович, к.т.н., с.н.с., заведующий кафедрой океанотехники и морских технологий, директор Института шельфовых технологий, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», 190121, Санкт-Петербург, Лоцманская улица, 10-14, e-mail: ser_verb@mail.ru

Sergey V. Verbitsky, PhD in Engineering, Head of Department of Ocean Engineering and Marine Technologies, St. Petersburg state marine technical university, 10-14, Lotsmanskaya, St. Petersburg, 190121, e-mail: ser_verb@mail.ru

Статья поступила в редакцию 23.03.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 23.03.2025; published online 20.06.2025.

УДК 629.5.01

DOI:10.37890/jwt.vi83.592

Проектирование обитаемых пространств малых пассажирских и прогулочных судов

А.Г. Назаров¹

ORCID: 0000-0002-6313-6277

¹*ООО АН Марин Консалтинг, г. Москва, Россия*

Аннотация. В статье рассмотрены современные подходы к созданию обитаемых пространств на малых судах, предназначенных для отдыха, туризма, перевозки пассажиров. Указывается, что правильнее говорить об обитаемых пространствах, чем об интерьере судна, поскольку эти пространства могут находиться на открытых палубах. Дизайн их разделен на компоновку и стайлинг. Перед началом проектирования, необходимо выполнить анализ функций на борту судна, после чего переходить к размерам пространств, и только потом определять размерения судна и его экстерьер. Дополнительно рассмотрены вопросы безопасной компоновки и травмобезопасности, дизайна освещения. Приведены приемы работы над дизайном, чтобы скрыть возможные видимые дефекты и обеспечить вид из помещений. Показана работа дизайнера над стилем и порядок представления документации дизайн-проекта.

Ключевые слова: малые суда, дизайн, обитаемые пространства, интерьеры

Design of habitable spaces on small passenger and recreational craft

Albert G. Nazarov¹

ORCID: 0000-0002-6313-6277

¹*AN Marine Consulting, Moscow, Russian Federation*

Abstract. The article discusses modern approaches to the creation of habitable spaces on small vessels intended for recreation, tourism, and passenger transportation. It is indicated that it is more correct to talk about habitable spaces than about the interior of the vessel, since these spaces can be located on open decks. Their design is divided into layout and styling. Before starting the design, it is necessary to perform an analysis of the functions on board the vessel, after which proceed to the dimensions of the spaces, and only then determine the dimensions of the vessel and its exterior. Additionally, the issues of safe layout and injury safety, lighting design are considered. Design techniques are provided to hide possible visible defects and provide a view from the premises. The work of the designer on the style and the order of presentation of the design project documentation is shown.

Keywords: small craft, design, habitable spaces, interiors

Введение

Создание в отечественной нормативной практике ниши «судов малых размерений» или «легких судов» подстегивает интерес к проектированию и постройке этого сегмента плавсредств.

Основной задачей судов малых размерений пассажирского либо прогулочного назначения является размещение и транспортировка людей: будь то туризм, отдых, проживание и мероприятия на борту или транспортные перевозки. Малые суда чаще всего проектируются не только с целью удовлетворения технико-экономических и навигационных характеристик, но и для удовлетворения потребительских качеств. Это касается и прогулочных судов, и пассажирских, где покупатель или пассажир

выбирает продукт (судно) или поездку (услугу) с учетом эстетики, функциональности, комфортабельности и безопасности судна. Оказывается, что именно обитаемые пространства, создаваемые с целью размещения людей, определяют главные размерения и архитектурный облик судна в целом.

Долгие годы задача проектирования судовых помещений виделась прежде всего в выборе цвета обоев на основе общего расположения, разработанного инженерами-кораблестроителями. Такой подход дает положительные результаты лишь для кают экипажа. На практике оказывается, что для обеспечения потребительских качеств такие малые суда рассматриваемых типов должны проектироваться прежде всего «от потребностей человека», то есть - от обитаемых пространств [1], а суда современных проектов нуждаются в более креативном подходе. В настоящей статье автором поставлена цель предложить методы проектирования малого судна «от обитаемых пространств». Рассмотрены частные задачи проектирования и дизайна с точки зрения компоновки, комфорта, освещения, представления результатов и использования искусственного интеллекта. Далее понятие «дизайн» рассматривается как промышленный дизайн и проектирование объекта «судно», а предметом дизайна в этом случае является комплекс эстетических, функциональных и технологических качеств объекта [1].



Рис. 1. Прогулочный катамаран пр.СС48; а – план главной палубы; б - общий вид судна; в, г - обитаемое пространство кормовой палубы, объединенной с салоном

Интерьеры или обитаемые пространства?

В отличие от устоявшегося подхода, автор статьи считает более правильным говорить не о дизайне интерьера, а о дизайне обитаемых пространств. Действительно, на судах рассматриваемых типов палубы, кокпиты, флайбриджи и другие элементы экстерьера используются для доступа и размещения людей. Кроме всего, на подобных судах не всегда можно строго отделить интерьер от экстерьера, т.к. их компоновка строится по принципу открывающихся пространств (indoor-outdoor). На рис.1 показан прогулочный катамаран; как можно заметить, обитаемые пространства на этом судне значительно превышают контур внутренних помещений (т.е. интерьер). Кормовая

переборка салона состоит из сдвижного остекления большой площади, которое, будучи открытым, превращает салон и кормовую палубу в единое пространство.

Задачи проектирования

Задачи проектирования или дизайна обитаемых пространств можно разбить на две основные составляющие (рис.2):

- Компоновка – разработка расположения обитаемых пространств, включая вопросы функциональности, комфорта, эргономики, безопасности и т.д.;
- Стайлинг – создание визуального облика пространств, включая эстетику, выбор материалов, оборудования и фурнитуры, освещения и т.д.

Еще одним перспективным направлением дизайна обитаемых пространств является создание интерфейсов, например, в контексте судовых систем типа «умный дом».



Рис.2. Прогулочный катамаран пр. Н36; а -компоновка главной палубы, б - стайлинг салона

Функции на борту судна

В статье [2] автором рассмотрены типы малых пассажирских судов и отмечается, что, к сожалению, проектанты и заказчики не всегда достоверно представляют себе особенности их функциональных качеств. Так, появляются проекты полностью застекленных «речных трамвайчиков», которые малопригодны для городского туризма и не позволяют пассажирам надлежащим образом насладиться поездкой по воде, организовать фотосессию и т.д. Для понимания проектирования обитаемых пространств необходимо четко представлять себе функции (активности) пассажиров и экипажа на борту судна (табл.1 и 2). Набор функций на борту разнообразен и не ограничивается сидением в креслах и фотографированием достопримечательностей через стекла. На рис.3 показаны некоторые из типичных активностей на пассажирских судах, связанные с приемом пищи, купанием, фотосессиями, корпоративами и т.д. Причем, часть этих активностей могут происходить при стоянке судна у причала. Проектирование обитаемых пространств (да и всего судна в целом) должно быть подчинено указанным функциям.

Вопросы эргономики

В свое время в качестве эргономических схем проектанты малых судов пользовались опубликованными данными [3,4], но эти схемы эволюционируют с учетом требовательности к комфорту, также с учетом акселерации населения. В практике автора используются разработанные за годы работы эргономические схемы, которые содержат хорошо себя зарекомендовавшие решения реализованных проектов, а для различных нетиповых задач иногда применяется физическое или 3D-

моделирование (например, RAMSES). Большой ошибкой является использование средних данных; необходимо рассматривать диапазон комфортных значений для подавляющего большинства населения.

Таблица 1

Функции и функциональные зоны на борту прогулочного судна

На якорю	Пати в марине	На ходу	Ночевка
Кокпит Кормовая платформа Сандек Салон Приготовление пищи «Мокрый» санузел Душ Переодевание Водные аттракционы Рыбалка Купание Шлюпка бортовая Музыка	Кокпит Флайбридж Салон Приготовление пищи Питание Фуршет Мусор Санузел Фотосессия Подсветка Музыка	Кокпит Флайбридж Сандек Сушилка Приготовление пищи Питание Мусор Санузел Управление судном Навигация Фотосессия Обслуживание систем и механизмов Музыка	Каюты Салон Приготовление пищи Питание Санузел Мусор Подсветка Приватность

Таблица 2

Функции и функциональные зоны на борту малога пассажирского судна

Перевозка из А в Б	Экскурсия	Дневной круиз	Обеденный круиз
Салон Бар, киоск Посадка Питание, напитки Мусор Санузел Система развлечений Доступная среда Усталость от рейса Wifi	Салон Бар, киоск Открытые палубы Обзор Фотосессия Питание, напитки Санузел Мусор Система развлечений Экскурсовод	Салон Бар, киоск Открытые палубы Купальная платформа Сандек Фотосессия Обзор Питание, напитки Мусор «Мокрый» санузел Купание Водные аттракционы Высадка на пляж Рыбалка Душ Музыка Ощущение «мы на яхте»	Салон Бар, киоск Открытые палубы Салон Приготовление блюд Сервировка блюд Санузел Фотосессия Обзор Музыка Wifi Ощущение «мы на яхте»

В качестве эргономических схем, автором применяются «мужчина из Нидерландов и женщина из Юго-Восточной Азии», отражающие две крайние категории (95% и 5% перцентиль антропометрических данных). В [2,5] автором приводятся рекомендуемые схемы сидений для пассажирских судов, а в [6] рассмотрены вопросы эргономики малога судна, приспособленного для людей с ограничениями по мобильности. В части эргономики скоростных судов и рулевых консолей, наиболее полные рекомендации приводятся в [7].



Рис. 3. Активности на борту малого пассажирского судна (пати на борту, дневной круиз, фотосессия)

Обеспечение комфорта

Комфорт часто упрощенно представляется потребителю как «наличие мягких сидений», но на самом деле, понятие комфорта намного шире и может быть разделено на две составляющие.

- Физиологический комфорт – набор объективно ощущаемых и измеряемых качеств, в них входят шум и вибрация, освещенность, параметры качки и ускорений (т.н. «укачивание»), климат (температура, скорость воздуха, влажность), эргономика и т.д.
- Психологический комфорт – ощущается субъективно как «приватность», «ощущение безопасности», «просторность», «приятность» и т.д.

Так, при оценке компоновки прогулочного судна следует учитывать понятие «приватности», т.е. степени недоступности частной жизни для посторонних. Это относится в первую очередь к звуковой и визуальной приватности кают, а в некоторых случаях – салона и других помещений. Так, при создании «хаусботов» принято выделять борт, постоянно обращенный к причалу, по которому ходят люди («глухой» с минимумом окон), и «приватный» борт с противоположной стороны, на котором выполняется остекление, балконы и т.д. [8].

Отметим, что обеспечение психологического комфорта требует трудно формализуемых приемов, аналогичных используемым в архитектуре; исторически подобные приемы рассматриваются в учениях «фэншуй», «васту-шастра» и т.д.

Компоновка высокоскоростного судна

В [9] автором показано, что подавляющее большинство малых прогулочных и пассажирских судов можно отнести к разряду высокоскоростных (ВСС) по параметру скорости движения. Для таких судов, существуют уровни ускорений 1 и 2, определяющие требования к компоновке судна. Исходя из данных, приведенных там же [9], все ВСС водоизмещением до 200т попадают в группу 2, требующую установки кресел одобренного типа и прочих ограничений, перечисленных ниже:

- Носовая повреждаемая зона, в которой запрещено размещение пассажиров и экипажа;
- Сиденья одобренного типа лицом в нос или в корму;
- Ремни безопасности либо ограждающие конструкции перед сиденьями;
- Диваны и столы запрещены;
- Бари и киоски с кормовой стороны переборок;
- Крепление багажа и тяжелых предметов.

В [10] автором рассмотрена опасная и безопасная компоновка сидений на катерах типа «спидбот». На рис.4 показан пример компоновки катамарана длиной 24м пр.РМ24, соответствующий приведенным выше требованиям.

Указанные требования применяются в основном для судов, совершающих международные рейсы согласно HSC Code [11]. Национальные правила применяют более гибкие требования для компоновки малых ВСС.

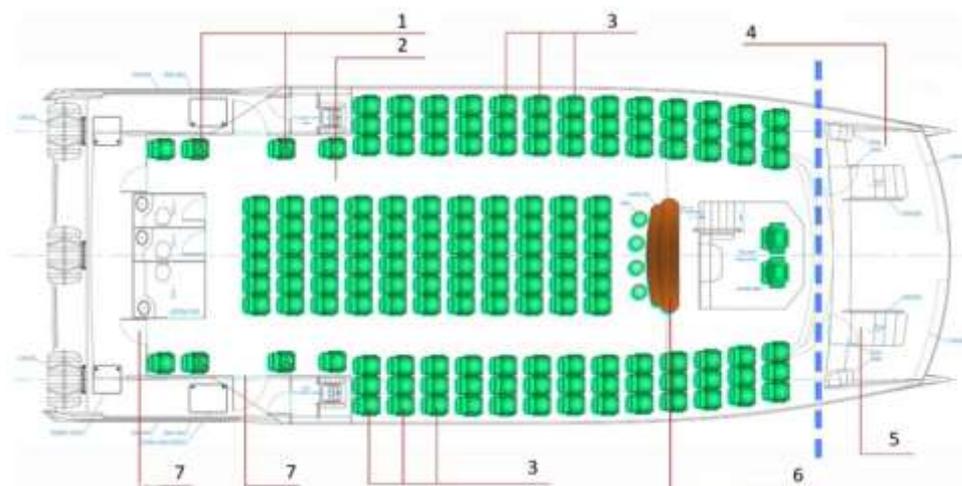


Рис. 4. Компоновка пассажирского катамарана ВСС: 1 – места с ремнями безопасности; 2 – проходы установленного размера; 3 - сиденья одобренного типа; 4 – носовая повреждаемая зона; 5 – носовой выход; 6 – бар; – 7 кормовой выход



Рис. 5. Травмобезопасная среда (а) пассажирского катамарана (Австралия) и травмоопасная среда (б) пассажирского судна «Чайка-СПГ»

Травмобезопасная среда

Травмобезопасная среда предполагает безопасность для использования неадаптированным к судовым условиям человеком. К сожалению, в отечественной практике сложилась ситуация, когда безопасность использования человеком приносится в жертву другим, часто менее актуальным и даже устаревшим требованиям. Размещение судовых конструкций и оборудования создают условия, в которых неподготовленный человек может спотыкнуться, зацепиться, удариться и т.д. – получить травму или испытать дискомфорт.



Рис. 6. Комингсы люков на яхте-катамаране пр. SY60

На рис.5б показано размещение дельных вещей и имущества («выставка багров») на пассажирской палубе, которое нельзя назвать положительной практикой, в отличие от показанного на рис.5а варианта. Комингсы дверей и люков также являются «врагом обитаемости» - препятствиями для перемещения неподготовленного человека по судну. Статистика от австралийских коллег (2005-2009) [12] позволяет сделать интересные выводы:

- На самый распространенный вид аварий - столкновения судов - приходится 16,6% погибших и 13,1% тяжелых травм от общего их числа;
- В то же время на падения на судне приходится 1,7% погибших и 21,8% тяжелых травм; травмы легкой и средней тяжести в этой статистике не учитывались, но очевидно, что они составляют еще более значительную долю.

Таким образом, по числу тяжело травмированных падения на судах превосходят все остальные типы происшествий, что как нельзя лучше подтверждает важность создания травмобезопасной среды судовых обитаемых пространств.

На рис.6 показаны основные решения по формированию безопасной среды на яхте-катамаране пр.SY60. К таковым относятся:

- Люки, установленные заподлицо с палубой. Водонепроницаемость люков обеспечивается за счет уплотнителей и дренажных каналов;
- Сдвижная дверь большой площади. Фактически, рама двери утоплена в палубу, а требуемый комингс достигается за счет водосборной ниши с решеткой сверху (foot basin);
- Скрытое размещение оборудования, например люк якорного отсека, когда само якорное устройства «спрятано» под палубу;
- Наличие нескользящих покрытий, поручней, ограждений.

Судовые обитаемые пространства должны быть приспособлены к воздействию качки и ускорений на людей, исключать острые углы мебели, а мебельная и палубная фурнитура, а также дельные вещи могут быть выполнены заподлицо с поверхностями.

Отличия судовых и береговых обитаемых пространств

В современной практике к работе над судовыми обитаемыми пространствами часто привлекаются «береговые» дизайнеры интерьеров. Здесь важно понимать различия между судовыми пространствами и таковыми в зданиях, и правильно ставить задачи «береговой» дизайнерской команде при возможной коллаборации.

На малых судах и яхтах, в частности, пространство весьма ограничено; буквально каждый сантиметр должен быть использован как из соображений эстетики, так и для функциональности, часто с помощью скрытых или встроенных в палубу или в мебель систем хранения, некоторого уменьшения размеров проходов, помещений и т.д. В зданиях же пространство ограничено в меньшей степени, чем на судах. Геометрия обитаемых пространств судовых помещений повторяет форму корпуса и надстроек,

т.е. помещение может иметь неправильную форму. При этом, судовые помещения в значительной степени насыщены системами, трубопроводами.

Применяемые на судне отделочные материалы должны быть стойкими к воздействию воды, влажности, солнечного излучения. При их выборе следует учитывать внешний вид при ярком освещении, в т.ч. с отражением от воды. Для чартерных и коммерческих судов важна стойкость материалов к износу и простота обслуживания.

Для судовых обитаемых пространств, особенно высокоскоростных судов, решающее значение имеет масса обстройки и оборудования, что заставляет применять для отделки сэндвич-панели, алюминиевые, ламинированные и т.п. элементы. Например, для столешниц вместо натурального камня применяются более легкие материалы типа Corain, для палуб – искусственное покрытие «под дерево» типа Dektom, Esthek, Flexiteek и подобные.

В отличие от интерьеров зданий, практически все элементы обстройки и мебели на судне являются «кастомизированными» – они специально изготавливаются для строящегося судна, что обеспечивает наилучшую утилизацию пространства.

Материалы, используемые на судах, должны иметь требуемые характеристики противопожарной защиты, согласно нормативным документам морской отрасли. Если для рекреационных судов по ISO9084 такие ограничения минимальны, то для «коммерческих яхт» и пассажирских судов выбор материалов может быть существенно ограничен действующими требованиями. Аналогичные требования применяются и при планировании путей эвакуации из судовых помещений.

Следует понимать, что дизайн интерьера должен быть «стабилен» и не устареть за время постройки и эксплуатации судна. Переоборудование интерьера судна – весьма дорогостоящая операция, в отличие от зданий, где вопрос часто решается заменой мебели и цвета стен.

В целом, дизайн интерьеров зданий сталкивается с меньшим количеством ограничений и более гибок. Для судов, с учетом приведенных выше соображений, сложность и удельная стоимость обитаемых пространств существенно выше таковой у зданий, что требует соответствующей квалификации дизайнера.

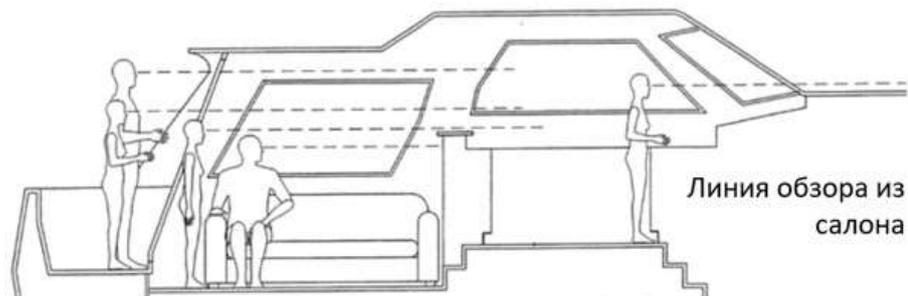


Рис. 7. Схема проверки обзора из салона и рулевой рубки прогулочного судна

Вид из помещений

«Вид из окна» является одним из ценностных элементов обитаемого помещения. К сожалению, об этом части забывают при разработке проектов судов, снабжаемых окнами и иллюминаторами малой площади, что является результатом следования устаревшим догмам проектирования и консервативным правилам классификационных обществ, без учета потребительских качеств судна. Современный тренд для судов рассматриваемых типов - максимизация площади остекления, обеспечение обзора, в т.ч. из салона и кают (рис.7 и 8).



Рис. 8. Остекление каюты на яхте-катамаране пр. SY60

При разработке дизайна помещений следует насколько это практически возможно учитывать линию обзора из обитаемых пространств, и формировать внешний облик соответственно. Так, сегодня считается предпочтительным, чтобы горизонт был виден сидящему на диване человеку, а также с кроватей гостевых кают.

Обор с поста управления судов длиной до 24м регулируется стандартом ГОСТ-ISO11591 с учетом ходового дифферента. Практика проектирования показывает, что даже в условиях применения правил классификационных обществ можно получить визуально привлекательные и безопасные решения [13].



Рис. 9. Система освещения на яхте-катамаране пр. Н65. Показано освещение палуб, ступенек, потопчин и подводные светильники

Освещение

До 90% информации об окружающем мире человек получает через зрение, что свидетельствует о важности освещения обитаемых пространств, обеспечиваемого за счет естественных и искусственных источников света. Помимо нормативных и

рассчитываемых значений освещенности [4], системы освещения и подсветки судов рассматриваемых типов являются неотъемлемым элементом дизайна (рис.9) и позволяют обеспечить комфорт и визуальную привлекательность судна. На рынке представлен разнообразный ассортимент светильников, обеспечивающих общий и акцентированный свет, местное и рассеянное освещение, прожекторы, светильники для красниц, подсветку живорыбных садков (на судах для любительской ловли рыбы), подводные светильники, светящиеся логотипы, освещение поста управления т.д.

В числе типовых задач, решаемых дизайнером, следует рассматривать:

- положение источников света, его достаточная интенсивность и приятные для восприятия человеком характеристики;
- избежание бликов, т.е. света чрезмерной интенсивности, попадающего в поле зрения людей;
- наличие нескольких схем освещения для разных задач и функций;
- освещение кухонной зоны;
- освещения санузла, зоны зеркала, и т.д.

Освещенность поста управления должна предусматривать отсутствие бликов на остеклении, и отсутствие «светового загрязнения» зоны обзора в темное время суток.

При разработке дизайна освещения используются схемы, приводимые в [4], а также рекомендации поставщиков осветительного оборудования.



Рис. 10. Внешний вид подволока; а - на катамаране Sungeef; б - на катамаране пр.СС48. Показаны дефекты глянцевой поверхности (1) и текстурированное покрытие (2)

Визуальное восприятие и видимое качество

В процессе работы над проектом обитаемых пространств следует учитывать особенности восприятия человеком пропорций и линий. Аналогичная проблема существует в архитектуре и решалась еще древними зодчими. В условиях судна задача осложняется тем, что объект может восприниматься с разных ракурсов и в движении.

Важной особенностью восприятия является возможность присутствия и развития в течение срока службы судна видимых дефектов поверхностей, особенно заметна волнистость больших глянцевых элементов подволока (рис.10а). В качестве примера решения проблемы, на рис. 10б показан текстурированный подволок крыши кормовой палубы, который позволяет «замаскировать» возможную волнистость стеклопластиковой конструкции. Этой же цели «маскировки» возможных визуальных дефектов служат гофры, изломы и подобные элементы (см.рис.6).

Подобные же нюансы существуют при формировании элементов остекления, например ровные блики, качество приклейки стекол и т.д. (рис.11), видимые в первую очередь с палубы судна.

При выборе стайлинга тесных помещений, рекомендуется использование светлых цветов на поверхностях, находящихся на уровне глаза наблюдателя, что визуально расширяет пространство.

Все большее число наших соотечественников посещают яхтенные выставки, в т.ч. международные, и имеют опыт пребывания на судах высшего качества изготовления. Такой клиент на борту яхты - достаточно придирчивый и подготовленный потребитель, и любые видимые визуальные дефекты с его точки зрения снижают оценку качества и связанной с ним стоимости судна.

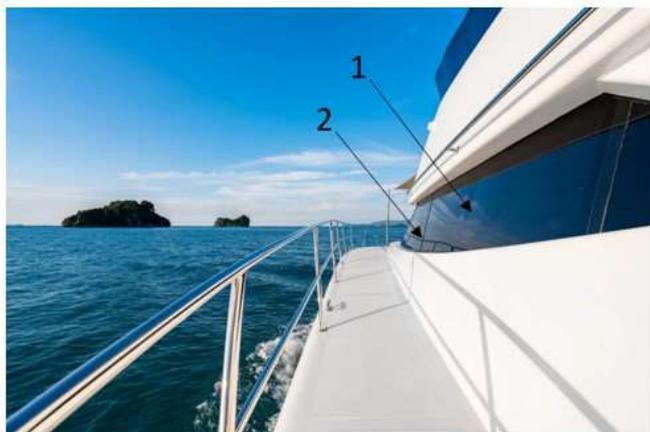


Рис. 11. Качественное исполнение остекления на катамаране пр.АВ45. Отсутствует волнистость (1), в стыке стекол отражение релингов сходится в одну точку (2)

Стиль обитаемых пространств

Стиль — это совокупность признаков, создающих целостный образ, характерный для определенного времени или направления в дизайне. При обосновании стиля обитаемых пространств на судах для отдыха часто используется понятие «лакшери», означающее роскошный образ жизни, потребление предметов и услуг высшего качества. Отдых на воде неразрывно ассоциируется с роскошным образом жизни. Принадлежность к объектам «лакшери» является привлекательной для современного потребителя, т.к. становится имиджевой характеристикой и подчеркивает его социальный статус. Поэтому к стилю и качеству отделки современных малых судов и в особенности яхт предъявляются повышенные требования.

Среди многообразия стилей в отделке помещений, можно выделить наиболее популярные направления:

- Минимализм (рис.8) – популярен среди европейских потребителей, характерны светлые тона, угловатая мебель, простые формы, минимум декора;
- Nautical или «морской стиль» (рис.12б) – характерен использованием количества дерева средних и темных тонов, темно синие и белые тона мягкой мебели;
- Ориентал – азиатский стиль или стилизация, характерно использование орнаментов, элементов декора, многоцветие.

В ряде случаев может разрабатываться уникальный стиль под конкретного заказчика, в том числе и с учетом корпоративного стиля – см.рис.14.

На формирование стиля и даже компоновки огромное влияние оказывают культурный аспект. Например, в отличие от европейских представлений, суда для азиатских заказчиков редко нуждаются в местах для загара, поскольку в Азии темная кожа атрибутом низкого происхождения.



Рис. 12. Стиль интерьера мастер-каюты на яхтах; а - моторная яхта длиной 35м; б - экспедиционный катамаран пр. D63



Рис. 13. Образцы отделочных материалов для судов: 1 – ковровые покрытия; 2 – ламинат для переборок и мебели; 3 – покрытия палуб; 4 – винил-кожа; 5 – ткань для наружных элементов

Представление проекта обитаемых пространств

Взаимодействие с заказчиком включает представление результатов проектирования; из опыта автора комплект документации по обитаемым пространствам обычно включает:

- Чертежи общего расположения судна в необходимом объеме;
- Чертежи отдельных помещений (зон), с указанием площадей, плана палубы, подволока и ограничивающих помещение переборок;
- Презентационные планы, выполняемые в цвете;
- Схема эвакуации с указанием аварийных выходов;
- План размещения осветительных приборов, розеток, выключателей и т.д.;
- Фотореалистичные изображения (рендеры) помещений;
- Выбор материалов помещений (т.н. стайл-рендер) (рис.14);
- Спецификация фурнитуры, оборудования, материалов;
- Физические образцы материалов, если таковые есть в распоряжении дизайнера;

- Функциональное описание обитаемых пространств либо презентация с необходимыми пояснениями.

Важность предоставления физических образцов заключается в том, чтобы ощутить тактильные качества материалов, избежать искажений цвета, оценить общее качество. Образцы желательно рассматривать при освещении, характером в эксплуатации на судне. Обычно практикующие дизайнеры имеют в своем распоряжении набор образцов от разных производителей, которые можно продемонстрировать на встрече с заказчиком (рис.13).



Рис. 14. Стайл-рендер гостевой каюты на яхте-катамаране пр.Е24. Разработан уникальный стиль для заказчика из Сибири, в т.ч. с использованием орнаментов

Последовательность решения задач проектирования малого судна

В практике автора, на начальном этапе работу над проектированием (дизайном) малого судна рекомендуется вести в последовательности:

- Определяются группы потребителей и функции на борту судна (табл.1 и 2);
- Определяется состав и габариты обитаемых пространств и вспомогательных помещений;
- Определяются сервисные зоны - проходы, места доступа к оборудованию и пути эвакуации;
- Разрабатывается дизайн экстерьера «вокруг» обитаемых пространств и сервисных зон;
- Полученный дизайн оценивается на выполнение требований технического задания, на осуществимость, удовлетворение эстетических и функциональных качеств. При необходимости выполняется корректировка путем обращения к предыдущим этапам.

Часто можно встретиться с ситуацией, когда начинающим свою карьеру в судостроении дизайнером создается некий образ судна, он «продается» заказчику, после чего с разной степенью успешности делаются попытки внедрить в него требуемую компоновку. В результате или происходит заведомая потеря функциональности судна, или потеря внешнего облика на стадии технического

проектирования, иногда до неузнаваемости. Приведенная выше схема работы позволяет избежать подобной нежелательной ситуации.

В любом случае, профессионально разработанный дизайн должен быть полностью реалистичен, каждый узел и геометрию должно быть возможно изготовить. В практике автора, экспресс-оценку степени реализуемости дизайна можно выполнить, посмотрев на такие детали проекта, как остекление и двери – «фантазийные» формы остекления и отсутствие учета реальных конструкций/открывания дверей являются безошибочными индикаторами отсутствия должной проработки и чаще всего – отсутствия необходимого практического опыта у разработчика.

Применение искусственного интеллекта

Искусственный интеллект (ИИ) находит все больше применение в решении дизайнерских задач. В практике автора, он используется для генерации идей, работы с вариантами дизайна, быстрого прототипирования. Основное применение - создание презентационных изображений на предконтрактной стадии, когда как таковой трехмерной модели судна еще нет, но необходимы привлекательные изображения для заказчика. На рис.15 показан салон катамарана, который был оперативно модифицирован из 3D модели другого проекта, для включения в договор на проектирование нового судна. Применение ИИ позволяет существенно снизить трудоемкость работ – если вариант с полным моделированием и рендерами занимает не менее 40 человеко-часов с учетом степени детализации изображения и отсутствия проекта как такового, то в варианте с ИИ – не более 10 человеко-часов на получение нужных проектных предложений.



Рис. 15. Применение искусственного интеллекта для генерации презентационных изображений салона на прогулочном катамаране, сверху вниз: скриншот 3D модели (модифицирована от другого проекта); предварительный вариант, окончательный вариант

Заключение

На основе представленных в статье материалов можно сделать однозначный вывод, что дизайн обитаемых пространств для некоторых типов судов – первичен [14]. При их проектировании не следует определять главные размерения путем «пересчета с прототипа», а необходимо в первую очередь исходить из эскизов обитаемых пространств.

К сожалению, часто оказывается, что инженеры не подготовлены к решению указанных задач, а дизайнеры не допускаются к их выполнению, или же не обладают необходимой квалификацией.

Приведенные материалы показывают, что проектирование судовых интерьеров и обитаемых пространств в целом – это намного сложнее, чем цвет обоев и расстановка мебели. При разработке дизайна следует учитывать функции на борту судна. Их может оказаться больше, чем кажется на первый взгляд.

Быть в тренде дизайна – это значит следить за тем, что делают коллеги по цеху, а не за тем, что уже сделано. Ну и конечно для разработки инновационного дизайна

необходимо предвидеть скрытые потребности клиента и применять новые возможности технологий.

Список литературы

1. Назаров А.Г. Морской дизайн и его применение при создании судов малых размеров// Научные проблемы водного транспорта, №82(1), 2025, с.39-52.
2. Назаров А.Г. Особенности проектирования малых пассажирских судов// Морские интеллектуальные технологии, №4 Часть 1, 2023, с.22-31.
3. Рунге В.Ф., Матусевич Ю.П. Эргономика в дизайне среды. Москва, «Архитектура-С», 2005.
4. Lisa C Hix. Interior design methods for yacht design and the boat building industry, Westlawn, Institute of Marine Technology, Apr. 30, 2001, p.251.
5. Nazarov A., Jabtanom P., Leeprasert A., Suebyiw P., Phormtan P. Expanding the Abilities: Design Development of Wheelchair Friendly Catamaran//The Transactions of The Royal Institution of Naval Architects, International Journal of Marine Design Vol. 154 Part C1, 2013.
6. Nazarov A., Jabtanom A., Charatsidis N. Small Passenger Boats and Water Taxis: Aesthetic and Functional Aspects of Design //Marine Design Conference, RINA, 2014 - Coventry, UK. p.83-94.
7. Ullman J. Designing consoles for speed, Professional Boatbuilder, № 141, February/March 2013, pp.62-69.
8. Huebbe S. Designing and building a houseboat. Monee, IL, 2020.
9. Назаров А.Г. Особенности применения требований Международной конвенции безопасности высокоскоростных судов к судам малых размеров// Научные проблемы водного транспорта, №78(1), 2024, с.201-211. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi78.466>
10. Latorre R.G., Nazarov A. Functionality and Safety of Small Passenger Craft: Some Lessons// 5th Chesapeake Power Boat Symposium - Annapolis, USA, 2016.
11. International Code of Safety for High Speed Craft (2000 HSC Code) – IMO, 2008 Edition
12. Draft Regulatory Impact Statement, National Standard for Commercial Vessels - Watertight and Weathertight Integrity, NMSC, August 2010.
13. Назаров А.Г., Королев С.А. Совершенствование требований к элементам остекления малых судов и яхт// Научно-технический сборник российского морского регистра судоходства № 77, 2024, с.94-104.
14. Nazarov A. Designing Water Taxis// Marine Design 2020, 15th – 16th January 2020, Cádiz, Spain.

References

1. Nazarov A.G. Morskoy dizajn i ego primeneniye pri sozdanii sudov malyh razmereniy [Marine design and its application for development of small sized ships]// Nauchnye problemy vodnogo transporta, №82(1), 2025, pp.39-52.
2. Nazarov A.G. Osobennosti normativnih podhodov k malim sudam [Specifics of normative approaches to small ships]// Morskie intellektualnie tehnologii, №4 Chast 1, 2023, p.22-31.
3. Runge V.F., Matusevich YU.P. Ergonomika v dizajne sredy [Ergonomics in environmental design]// Moskva, «Arhitektura-S», 2005.
4. Lisa C Hix. Interior design methods for yacht design and the boat building industry, Westlawn, Institute of Marine Technology, Apr. 30, 2001, p.251.
5. Nazarov A., Jabtanom P., Leeprasert A., Suebyiw P., Phormtan P. Expanding the Abilities: Design Development of Wheelchair Friendly Catamaran//The Transactions of The Royal Institution of Naval Architects, International Journal of Marine Design Vol. 154 Part C1, 2013.
6. Nazarov A., Jabtanom A., Charatsidis N. Small Passenger Boats and Water Taxis: Aesthetic and Functional Aspects of Design //Marine Design Conference, RINA, 2014 - Coventry, UK. p.83-94.
7. Ullman J. Designing consoles for speed, Professional Boatbuilder, № 141, February/March 2013, pp.62-69.
8. Huebbe S. Designing and building a houseboat. Monee, IL, 2020.

10. Nazarov A.G. Osobennosti primeneniya trebovanij Mezhdunarodnoj konvencii bezopasnosti vysokoskorostnyh sudov k sudam malyh razmerenij [Specifics of application of requirements of international code on safety of high-speed craft to small craft]// Nauchnye problemy vodnogo transporta, №78(1), 2024, p.201-211. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi78.466>
11. Latorre R.G., Nazarov A. Functionality and Safety of Small Passenger Craft: Some Lessons// 5th Chesapeake Power Boat Symposium - Annapolis, USA, 2016.
12. International Code of Safety for High Speed Craft (2000 HSC Code) – IMO, 2008 Edition
13. Draft Regulatory Impact Statement, National Standard for Commercial Vessels - Watertight and Weathertight Integrity, NMSC, August 2010.
14. Nazarov A.G., Korolev S.A. Sovershenstvovanie trebovanij k elementam ostekleniya malyh sudov i yaht [Improvement of requirements to glazing elements on small craft and yachts]// Nauchno-tehnicheskij sbornik rossijskogo morskogo registra sudohodstva № 77, 2024, p.94-104.
15. Nazarov A. Designing Water Taxis// Marine Design 2020, 15th – 16th January 2020, Cádiz, Spain.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Назаров Альберт Георгиевич, кандидат технических наук, FRINA, CEng, MSNAME, директор «АН Марин Консалтинг», 107113, Москва, ул. Шумкина, д.20, с.1, офис 501/502, e-mail: anmarineconsulting@ya.ru

Albert G. Nazarov, Cand Sci (Tech), FRINA, CEng, MSNAME, director of «AN Marine Consulting», Shumkina str., 20, p.1, office 501/502, Moscow, 107113, e-mail: anmarineconsulting@ya.ru

Статья поступила в редакцию 31.03.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 31.03.2025; published online 20.06.2025.

СУДОВОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

SHIP POWER EQUIPMENT

УДК 629.1

DOI: 10.37890/jwt.vi83.607

Комплексный подход к оценке влияния стохастических факторов на процессы износа подшипников траловых лебедок

А.В. Ивановская¹

ORCID: 0000-0002-3548-9083

А.А. Халявкин²,

А.В. Борозняк¹

В.В. Шаповал¹

¹*Керченский государственный морской технологический университет, г. Керчь, Россия*

²*Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Ф.М. Апраксина – филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ», г. Астрахань, Россия*

Аннотация. Подшипники, установленные на валу барабана траловой лебедки, являются одними из наиболее нагруженных и ответственных элементов конструкции. Они обеспечивают вращение барабана, воспринимают значительные радиальные и осевые нагрузки, возникающие при постановке и выборке трала. Надежность подшипниковых узлов напрямую влияет на безотказность работы всей лебедки, производительность промысла и затраты на техническое обслуживание. В данной статье рассматриваются основные аспекты надежности подшипниковых узлов, факторы, влияющие на их работоспособность, определение нагрузки, действующей на подшипниковый узел. Нестационарный характер нагрузки определяется множеством факторов, включая гидродинамическое сопротивление трала при его движении в водной среде, изменение глубины траления, неравномерность наполнения трала объектами лова, влияние морского волнения на судно, а также маневрирование судна в процессе траления. Данные факторы создают сложный спектр переменных нагрузок, воздействующих на подшипниковые узлы барабана траловой лебедки.

Ключевые слова: траловая лебедка, подшипники, нагрузка на подшипник, классификация нагрузок, случайные факторы.

An integrated approach to assessing the impact of stochastic factors on the wear processes of trawl winch bearings

Aleksandra V. Ivanovskaya¹

ORCID: 0000-0002-3548-9083

Alexey A. Khalyavkin²,

Alexander V. Boroznyak¹,

Vitaly V. Shapoval¹

¹*Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russia*

²*Caspian Institute of Sea and River Transport named after General Admiral F.M.*

Apraksina – the affiliation of Volga State University of Water Transport, Astrakhan, Russia

Abstract. Bearings installed on the shaft of the trawl winch drum are one of the most loaded and critical structural elements. They provide rotation of the drum, perceive significant radial and axial loads arising during setting and sampling of the trawl. The reliability of the bearing assemblies directly affects the uptime of the entire winch, the productivity of the field and

the cost of maintenance. This article discusses the main aspects of reliability of bearing assemblies, factors affecting their performance, determination of the load acting on the bearing assembly. The non-stationary nature of the load is determined by many factors, including the hydrodynamic resistance of the trawl during its movement in the aquatic environment, the change in the trawling depth, the uneven filling of the trawl with fishing objects, the effect of sea waves on the vessel, as well as the maneuvering of the vessel during trawling. These factors create a complex range of variable loads affecting the bearing assemblies of the trawl winch drum.

Keywords: trawl winch, bearings, bearing load, load classification, random factors

Введение

Судовое вспомогательное оборудование представляет собой совокупность механизмов и устройств, обеспечивающих выполнение специфических функций судна. Для рыбопромысловых судов к вспомогательным механизмам относятся траловые лебедки, устройства для подъема трала и выгрузки, и другие элементы [1,2]. Траловые лебедки (рис.1) являются одним из наиболее нагруженных механизмов на борту рыбопромыслового судна, обеспечивающим спуск, подъем и управление тралом в процессе лова [3]. В связи с этим вопросы её надежности имеют особое значение.

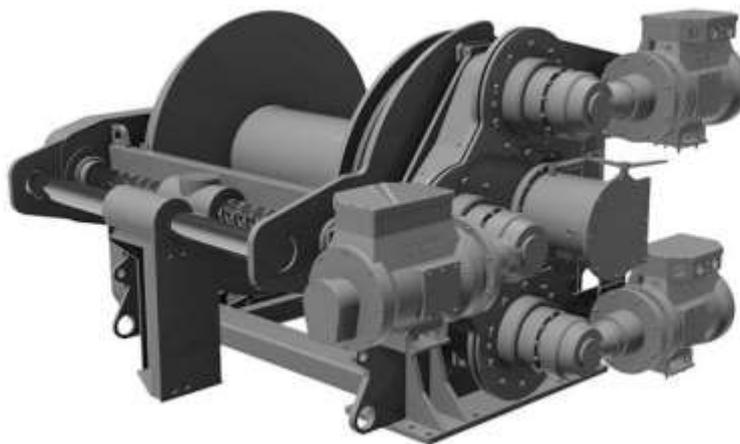


Рис. 1. Общий вид траловой лебедки

Подшипниковые узлы барабанов траловых лебедок относятся к наиболее ответственным элементам промышленного оборудования, определяющим эффективность и безопасность рыболовных операций. Вал барабана траловой лебедки служит для наматывания троса и передачи усилия от привода к тралу. Подшипниковые узлы, установленные на этом валу, обеспечивают свободное вращение вала с минимальными потерями на трение, воспринимают радиальные и осевые нагрузки, возникающие при натяжении троса, компенсируют возможные перекосы вала и погрешности монтажа, а также обеспечивают долговечность и стабильную работу механизма в сложных условиях эксплуатации.

Анализ статистических данных эксплуатации отечественного рыболовного флота показывает, что отказы валов барабана и подшипников составляют 25 – 30% от общего числа поломок промышленного оборудования [4]. На рисунке 2 изображены излом вала и выход из строя подшипника качения. Согласно экспертной оценке специалистов судоремонтных предприятий, фактический ресурс подшипников траловых лебедок значительно ниже расчетного [5]. Так, средняя наработка до отказа

составляет лишь 8000 – 12000 часов при расчетном ресурсе 20000 – 25000 часов. Немаловажное значение в снижении ресурсного срока оказывает недооценка влияния случайных факторов морской среды при проектировании, что обуславливает важность проводимых исследований [6].

Целью работы является исследование метода комплексной оценки влияния стохастических факторов характеристик буксируемого объекта и морской среды на процессы износа подшипников траловых лебедок.



Рис. 2. Общий вид выхода из строя подшипника качения и излома вала

Материалы и методы

Повышенный износ подшипников на валу барабана траловой лебедки может быть вызван следующими причинами:

1. Превышение допустимых нагрузок. Подшипники рассчитаны на конкретные значения статической и динамической нагрузки, указанные производителем. При перегрузке возникает увеличение контактных напряжений – между телами качения (шариками/роликами) и дорожками качения возникает чрезмерное давление, что приводит к пластическим деформациям поверхностей, образованию вмятин и микротрещин. Также циклические нагрузки при работе лебедки ускоряют усталостное разрушение металла, даже однократное превышение предельной нагрузки может инициировать трещины, которые со временем распространяются.

2. Динамические нагрузки и удары. Перегрузка часто сопровождается ударными нагрузками (например, при резком запуске/остановке, обрыве троса или неравномерной намотке). Эти нагрузки разрушают сепаратор, что приводит к их смещению и заклиниванию, а также ускоряют износ из-за многократного повторения кратковременных пиковых усилий.

3. Перегрев подшипников. Повышенные нагрузки увеличивают трение в подшипнике, что вызывает локальный перегрев. Высокая температура разрушает структуру смазки, снижает её вязкость и антифрикционные свойства. Металлические детали расширяются, что уменьшает зазоры в подшипнике и усиливает трение.

4. Неравномерное распределение нагрузки. Перегрузка часто приводит к неравномерной работе подшипников, особенно если их несколько (например, на разных концах вала. Из-за деформации конструкции подшипники работают под неправильным углом, что увеличивает трение и износ.

5. Влияние на срок службы подшипников. Срок службы подшипников (L_{10}) напрямую зависит от нагрузки. По формуле расчета базового срока службы [7]:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p,$$

где C – динамическая грузоподъемность подшипника, P – эквивалентная нагрузка, p – показатель степени, например, если нагрузка P увеличивается в 2 раза, срок службы уменьшается в $2^3 = 8$ раз для шариковых подшипников. Это означает, что даже кратковременная перегрузка серьезно снижает ресурс.

6. Различные варианты перегрузки: превышение массы груза – подъем или буксировка объекта, превышающего допустимую грузоподъемность лебедки; нарушение намотки троса – неплотная или перекошенная намотка создает боковые усилия на барабан; частые циклы работы – работа в режиме «подъем – спуск» без пауз приводит к накоплению усталостных повреждений.

Повышенные нагрузки на подшипники барабана таловой лебедки могут быть разных типов и возникать по различным причинам. Они зависят от характера работы оборудования, условий эксплуатации и конструктивных особенностей узла. Для совершенствования методики расчета и проектирования подшипников узлов целесообразно классифицировать нагрузки в зависимости от действующих сил [8] (рис. 3).

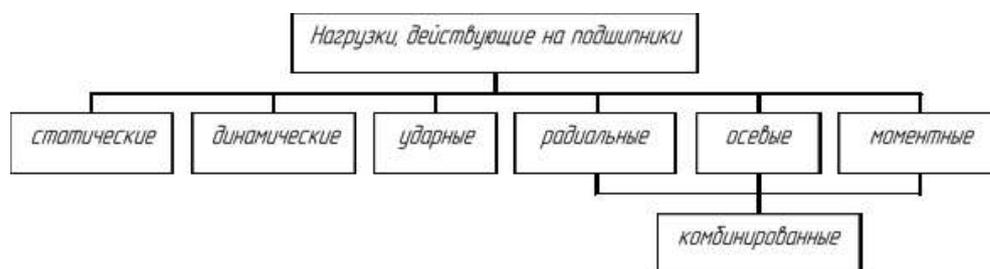


Рис. 3. Классификация нагрузок, действующих на подшипники

Статические нагрузки возникают от действия постоянных сил на подшипники при неподвижном вале или при минимальной скорости вращения из-за влияния массы груза, удерживаемого лебедкой, собственного веса барабана и намотанного на него троса. Последствиями таких нагрузок являются пластические деформации тел качения – шарики/ролики вдавливаются в металл, образуя вмятины.

Динамические нагрузки возникают при вращении вала и работе лебедки под нагрузкой от переменных сил из-за вращения барабана при намотке/спуске троса и при его ускоренном или замедленном движении. Вследствие таких нагрузок возникает усталостное разрушение металла из-за циклического нагружения, а также питтинг на поверхности металла.

Ударные нагрузки представляют собой возрастающие силовые воздействия на подшипник, которые возникают внезапно и действуют в течение короткого промежутка времени. Такие нагрузки характеризуются высокой интенсивностью и часто сопровождаются значительными ускорениями или динамическими импульсами.

Они возникают при резких изменениях режима работы из-за резких пусков/остановок двигателя, обрыва троса или внезапное ослабление натяжения, падения груза или его заедание в процессе буксировки или подъема [9]. Это может привести к микроскопическим трещинам на поверхностях тел качения, разрушения сепаратора или деформации металла.

Радиальные нагрузки действуют перпендикулярно оси вала по причине несбалансированности барабана из-за неравномерной намотки троса и износа барабана. Также характерным является биение вала из-за дефектов монтажа или износа подшипников. Все это может привести к неравномерному износу дорожек качения, увеличению люфта в подшипнике, вызывая вибрации и дополнительные нагрузки.

Осевые нагрузки направлены вдоль оси вала, возникающие из-за наклона груза при подъеме/спуске, неправильной намотке троса, использования шевронной или многослойной намотки. Осевые нагрузки приводят к износу сепаратора и торцевых поверхностей подшипника, смещению тел качения, приводящих к заклиниванию.

Моментные нагрузки возникают от действия пары сил, вызывающих вращательный момент вокруг оси, перпендикулярной валу из-за неравномерного распределения груза, износа троса или его деформации, которые приводят к эксцентриситету намотки. Такие нагрузки являются причиной перекоса подшипников, из-за которого тела качения работают под неправильным углом. Также могут наблюдаться локальные перегрузки на отдельных участках.

Комбинированные нагрузки возникают из-за одновременного воздействия радиальных, осевых и моментных нагрузок. Причиной их появления являются нестационарные режимы работы лебедки, нестабильные условия эксплуатации. Как следствие таких нагрузок, появление комплексного разрушения подшипников, сочетание усталости металла, абразивного износа и термического повреждения, а также резкое снижение срока службы из-за взаимного усиления нагрузок.

Для повышения ресурса подшипниковых узлов траловой лебедки целесообразно на этапе расчета и проектирования учитывать возможные нагрузки. Прогностические математические модели должны содержать зависимости, описывающие влияние переменных условий эксплуатации траловой лебедки, и, следовательно, подшипниковых узлов. Рассмотрим методику расчета нагрузок, действующих на подшипники траловой лебедки с учетом нестационарных факторов.

Значительное влияние на нестационарность процесса оказывает натяжение тралового лова $T(t)$, которое может быть представлено в виде суммы, детерминированной и случайной составляющих

$$T(t) = T_{дт}(t) + T_{сл}(t). \quad (1)$$

При этом детерминированная составляющая включает влияние сопротивления трала в воде ($T_{тр}$), сопротивления движению по дну ($T_{сд}$) и нагрузка от массы улова ($T_{ул}$)

$$T_{дт} = T_{тр} + T_{сд} + T_{ул}, \quad (2)$$

где сопротивление трала выражено зависимостью

$$T_{тр} = 0.5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S_{тр} \cdot C_{тр}, \quad (3)$$

где $\rho = 1025 \text{ кг/м}^3$ – плотность морской воды, v – скорость буксировки, м/с, $S_{тр}$ – площадь трала, м², $C_{тр}$ – коэффициент сопротивления трала; сопротивление движению по дну определяется по формуле

$$T_{сд} = \mu \cdot G_{тр} \cdot \cos(\beta), \quad (4)$$

где μ – коэффициент трения трала о грунт, $G_{тр}$ – вес трала в воде, Н, β – угол неровностей рельефа дна;

нагрузка от улова пропорциональна плотности рыбы

$$T_{ул} = g \cdot m_{ул}(t) \cdot (1 - \rho_{мв}/\rho_p), \quad (5)$$

где $m_{\text{ул}}(t)$ – переменная масса улова, $\rho_p \approx 1050 \text{ кг/м}^3$ – средняя плотность рыбы.

Случайная составляющая моделируется как сумма случайных процессов от неровностей дна ($T_d(t)$), случайных зацепов ($T_3(t)$), морского волнения ($T_B(t)$) и случайного изменения скорости выборки ($T_{\text{СК}}(t)$) в виде стохастических зависимостей

$$T_{\text{сл}}(t) = T_d(t) + T_3(t) + T_B(t) + T_{\text{СК}}(t). \quad (6)$$

Натяжение тралового троса $T(t)$ создаёт систему сил, действующих на подшипники через вал барабана, которая раскладывается на составляющие в зависимости от геометрии схода троса

$$\begin{aligned} F_x(t) &= T(t) \cdot \cos(\alpha_{\text{СК}}) \cdot \cos(\beta_{\text{ук}}), \\ F_y(t) &= T(t) \cdot \sin(\alpha_{\text{СК}}), \\ F_z(t) &= T(t) \cdot \cos(\alpha_{\text{СК}}) \cdot \sin(\beta_{\text{ук}}), \end{aligned} \quad (7)$$

где

$\alpha_{\text{СК}} = \arctg(H_{\text{СК}}/R_{\text{СК}})$ – угол схода троса в вертикальной плоскости, $H_{\text{СК}}$ – вертикальное смещение точки схода от оси барабана, $R_{\text{СК}}$ – горизонтальное расстояние до точки схода;

$\beta_{\text{ук}} = \arctg(p/(\pi \cdot D_{\text{эф}}))$ – угол укладки троса (наклон винтовой линии), i – шаг намотки троса, $i = d_T/\cos(\varphi)$, φ – угол между витками троса, $D_{\text{эф}} = D_b + 2 \cdot d_T \cdot (n_{\text{ТТ}} - 0.5)$ – эффективный диаметр намотки, где $n_{\text{ТТ}}$ – номер текущего слоя намотки, D_b – диаметр барабана, d_T – диаметр троса.

При прогнозировании нагрузки на подшипники следует учесть, что в процессе травления или выборки трала наблюдается изменение эффективного диаметра. Так, при намотке троса эффективный диаметр можно определить по формуле

$$D_{\text{эф}}(\varphi) = D_b + 2 \cdot d_T \cdot (L_{\text{нт}}(\varphi)/(\pi \cdot D_b \cdot n_{\text{Тс}})), \quad (8)$$

где φ – угол поворота барабана, $L_{\text{нт}}$ – длина намотанного троса, $n_{\text{Тс}}$ – количество витков троса в одном слое.

Также в данном случае наблюдается и изменение плеча приложения силы на величину

$$a(\varphi) = L_b/2 - v_{\text{скт}} \cdot t_{\text{оп}}, \quad (9)$$

где $v_{\text{скт}}$ – скорость перемещения троса вдоль барабана, $t_{\text{оп}}$ – время операции.

Эти зависимости позволяют точно рассчитать нагрузки на подшипники с учётом всех геометрических и динамических факторов работы траловой лебедки.

Рассмотрим распределение нагрузки между подшипниками, схема которого представляется как балка на двух опорах A и B с консольной нагрузкой, для которой

$$R_A = F_y \cdot (L_b + a)/L_b + G_b/2,$$

$$R_B = F_y \cdot a/L_b + G_b/2, \quad (10)$$

где R_A, R_B – реакции опор A и B , a – расстояние от оси барабана до точки приложения силы F_y , G_b – вес барабана, L_b – длина барабана.

Тогда радиальная нагрузка на каждый подшипник может быть определена по зависимостям

$$P_{r,A}(t) = \sqrt{(R_A^2 + (F_x(t)/2)^2)},$$

$$P_{r,B}(t) = \sqrt{(R_B^2 + (F_x(t)/2)^2)}. \quad (11)$$

$$P_{r,B}(t) = \sqrt{(R_B^2 + (F_x(t)/2)^2)}. \quad (11)$$

Осевая составляющая от натяжения троса равна проекции на ось z

$$P_{a,общ}(t) = F_z(t) = T(t) \cdot \cos(\alpha_{сх}) \cdot \sin(\beta_{ук}). \quad (12)$$

При этом, осевая нагрузка воспринимается одним из подшипников (обычно упорным)

$$P_{a,уп}(t) = P_{a,общ}(t),$$

$$P_{a,св}(t) = 0. \quad (13)$$

Также при работе в нестационарных условиях возможен перекося вала на угол γ , создающий дополнительную осевую нагрузку

$$P_{a,см}(t) = P_r(t) \cdot tg(\gamma) \cdot \mu_{пш}, \quad (14)$$

где $\mu_{пш}$ – коэффициент трения в подшипнике.

Моментная нагрузка возникает, когда внешние силы приложены несимметрично относительно оси вала и создают тенденцию к его изгибу или перекося и зависит от крутящего момента на валу

$$M_{кр}(t) = T(t) \cdot D_{эф}/2, \quad (15)$$

и изгибающего момента

$$M_{изг,А}(t) = R_A \cdot L_6/2 + F_y \cdot a,$$

$$M_{изг,В}(t) = R_B \cdot L_6/2. \quad (16)$$

Изгибающий момент создаёт дополнительную радиальную нагрузку

$$\Delta P_{r,изг} = M_{изг}/(0.5 \cdot L_6). \quad (17)$$

Уточнение математической модели нагрузки на подшипники осуществляется за счет динамических коэффициентов, возникающих при изменении нагрузки ($k_{дин}$), неравномерности намотки троса на барабан ($k_{вт}$) и влиянии угла схода троса с барабана в сторону буксируемого объекта ($k_{уг}$), которые определяются по следующим зависимостям

$$k_{дин} = 1 + k_v \cdot (dT/dt)/T_0, \quad (18)$$

где k_v – коэффициент чувствительности к скорости изменения нагрузки, dT/dt – скорость изменения натяжения;

$$k_{вт} = 1 + 0.1 \cdot (n_t - 1)/n_t, \quad (19)$$

$$k_{уг} = 1/\cos(\alpha_{сх}), \quad (20)$$

С учетом вышесказанного получим итоговые формулы для определения нагрузок на подшипники в опорах. Так, полная радиальная нагрузка на подшипник А

$$P_{r,А}(t) = k_{дин} \cdot k_{вт} \cdot k_{уг} \cdot \left[\sqrt{(R_A^2 + (F_x(t)/2)^2) + \Delta P_{r,изг,А}} \right] \quad (21)$$

полная радиальная нагрузка на подшипник В

$$P_{r,В}(t) = k_{дин} \cdot k_{вт} \cdot k_{уг} \cdot \left[\sqrt{(R_B^2 + (F_x(t)/2)^2) + \Delta P_{r,изг,В}} \right] \quad (22)$$

полная осевая нагрузка на упорный подшипник

$$P_a(t) = k_{дин} \cdot [T(t) \cdot \cos(\alpha_{сх}) \cdot \sin(\beta_{ук}) + P_{a,см}(t)] \quad (23)$$

Общая эквивалентная нагрузка на подшипники определяется как сумма осевой и радиальной нагрузок и зависит от вида подшипника. Так, для радиальных подшипников

$$P_{экр,р}(t) = X \cdot P_r(t) + Y \cdot P_a(t) \quad (24)$$

для радиально–упорных подшипников

$$\begin{aligned}
 P_{\text{экв,ру}}(t) &= 0.65 \cdot P_r(t) + Y^1 \cdot P_a(t) \text{ при } P_a/P_r \leq e \\
 P_{\text{экв,ру}}(t) &= X^1 \cdot P_r(t) + Y^1 \cdot P_a(t) \text{ при } P_a/P_r > e
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

где X, Y, X^1, Y^1, e — коэффициенты, зависящие от типа подшипника [7].

Кроме динамического влияния изменения геометрических параметров барабана от навивки троса, существенное воздействие оказывают внешние гидрометеорологические факторы и переменность параметров груза. Тогда нагрузка на подшипник представляется в виде случайного процесса нагружения

$$P(t) = P_{\text{ср}} + P_{\text{трн}}(t) + P_{\text{пер}}(t) + P_{\text{сл}}(t)
 \tag{26}$$

где $P_{\text{ср}}$ — среднее значение нагрузки, $P_{\text{сл}}(t)$ — случайная составляющая,

$P_{\text{трн}}(t) = P_0 + k_{\text{трн}} \cdot t + k_{\text{ул}} \cdot m_{\text{ул}}(t)$ — медленно меняющаяся составляющая (тренд), $k_{\text{трн}}$ — коэффициент изменения нагрузки во времени, $k_{\text{ул}}$ — коэффициент влияния массы улова,

$P_{\text{пер}}(t) = \sum A_i \cdot \sin(\omega_i \cdot t + \varphi_i)$ — периодические составляющие, A_i — амплитуды гармоник, ω_i — частоты (качка судна, вращение барабана, волнение), φ_i — начальные фазы.

Результаты исследования. Рассмотрим предлагаемую методику расчета нагрузки на подшипники барабана траловой лебедки при следующих исходных данных: геометрические размеры барабана (диаметр и длина) составляют соответственно 1.0 и 3.0 м, его масса 8500 кг и расстояние между подшипниками 2.8 м, диаметр навиваемого троса 28 мм, установлены конические роликовые подшипники. Был рассчитан случай работы с тралом площадью 400 м² и массой в воздухе 1200 кг при максимальной массе улова в 5000 кг. Буксировка и выборка осуществлялась на глубине 120 м при скорости 2.5 м/с. При этом учитывались внешние условия: высота волны 2.5 м, период волны 8 с и трал перемещался по песчаному грунту.

В соответствии с методикой были получены следующие результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчета нагрузок на подшипниковые узлы

Параметр	Ед. изм.	Подшипник А	Подшипник В
Детерминированная радиальная нагрузка	Н	66,918	64,766
Полная радиальная нагрузка	Н	71,688	69,384
Эквивалентная нагрузка (детерм.)	Н	46,743	45,246
Эквивалентная нагрузка (с учётом случ.)	Н	82,616	79,984
Увеличение от случайных факторов	-	76.7%	76.8%

Анализ полученных результатов расчета показал, что:

- случайные факторы увеличивают эквивалентную нагрузку на подшипники на 77%;

2. подшипник *A* (со стороны схода троса) нагружен на 3.3% больше подшипника *B*;

3. изгибающие моменты составляют около 32% от общей радиальной нагрузки.

Заключение

Для повышения срока ресурса подшипниковых узлов барабана траловой лебедки с точки зрения эксплуатации может быть рекомендовано: соблюдение паспортных параметров режимов работы; контроль параметров трала при его буксировке и выборке; регулярная проверка состояния подшипников; смазки и уплотнений, обеспечение равномерного распределения нагрузки на барабан [10].

Предлагаемый метод комплексной оценки влияния стохастических факторов характеристик буксируемого объекта и морской среды на процессы износа подшипников траловых лебедок может быть использован при замене на усиленные подшипники с увеличенной грузоподъемностью.

Список литературы

1. Карпенко В.П., Торбан С.С. Механизация и автоматизация процессов промышленного рыболовства: учебное пособие. М.: Агропромиздат, 1990. 464 с.
2. Те А.М. Эксплуатация судовых вспомогательных механизмов, систем и устройств. Учебное пособие. Владивосток: МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2014. 178 с.
1. З Попов В.В., Ивановская А.В., Ивановский А.Н. Особенности разработки системы адаптивного управления специальными судовыми устройствами на примере траловой лебедки рыбопромыслового судна // Научные проблемы водного транспорта. 2023. № 76. С. 111-119. – DOI 10.37890/jwt.vi76.399.
3. Башуров Б.П., Скиба А.Н., Чебанов В.С. Функциональная надежность и контроль технического состояния судовых вспомогательных механизмов: учебное пособие. Новороссийск: МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2009. 192 с.
4. Ивановская А.В., Виноградов В.Н., Ивановский А.Н. Оценка безотказности работы судовых грузоподъемных устройств // Развитие энергетики водного транспорта, информационных и энергосберегающих технологий: Сборник материалов II Всероссийской конференции, Казань, 09–10 декабря 2024 года. Казань: Волжский государственный университет водного транспорта, 2024. С. 180-184.
5. Ивановская А.В., Клименко Н.П., Попов В.В. Статистический анализ отказов элементов палубного оборудования рыбопромыслового судна // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2022. Т. 14, № 3. С. 440-448. – DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-3-440-448.
6. ГОСТ 18855-94 (ИСО 281-89) Подшипники качения динамическая расчетная грузоподъемность и расчетный ресурс (долговечность). М. Стандартиформ, 2009. 26 с.
7. Ивановская А.В., Жуков В.А., Шустряков Н.А. Тенденции развития и современные методы проектирования грузоподъемных устройств рыбопромыслового судна // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2024. Т. 16, № 3. С. 444-455. – DOI 10.21821/2309-5180-2024-16-3-444-455.
8. Ивановская А.В. Формализация движения буксируемого объекта по поверхности как часть системного подхода при моделировании судовой лебедки // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. Серия: Морские технологии. 2023. № 2. С. 57-65.
9. Халявкин А.А., Санжапов А.Р., Матвеев Ю.И. [и др.] Повышение надежности дейдвудных подшипников путем лазерной наплавки гребного вала // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. Серия: Морские технологии. 2024. № 3. С. 42-48.

References

1. Karpenko V.P., Torban S.S. Mexanizaciya i avtomatizaciya processov promy'shennogo ry'bolovstva: uchebnoe posobie [Mechanization and automation of industrial fishing processes: a training manual]. M.: Agropromizdat, 1990. 464 p. (In Russ)
2. Te A.M. E'kspluatatsiya sudovy'x vspomogatel'ny'x mexanizmov, sistem i ustrojstv. Uchebnoe posobie. [Operation of ship auxiliary mechanisms, systems and devices. a training manual]. Vladivostok: Moscow State University G.I. Nevelsky, 2014. 178 p. (In Russ)
1. 3 Popov V.V., Ivanovskaya A.V., Ivanovskij A.N. Osobennosti razrabotki sistemy' adaptivnogo upravleniya special'ny'mi sudovy'mi ustrojstvami na primere tralovoj lebedki ry'bopromy'slovogo sudna [Features of the development of an adaptive control system for special ship devices on the example of a trawl winch of a fishing vessel]. Scientific problems of water transport. 2023. № 76. pp. 111-119.
3. Bashurov B.P., Skiba A.N., Chebanov V.S. Funkcional'naya nadezhnost' i kontrol' texnicheskogo sostoyaniya sudovy'x vspomogatel'ny'x mexanizmov: uchebnoe posobie [Functional reliability and technical condition control of ship auxiliary mechanisms: training manual]. Novorossiysk: MGA named after Admiral F.F. Ushakov, 2009. 192 p.
4. Ivanovskaya A.V., Vinogradov V.N., Ivanovskij A.N. Ocenka bezotkaznosti raboty' sudovy'x gruzopod'emny'x ustrojstv. [Evaluation of vessel lifting devices failure-free operation]. Development of the energy of water transport, information and energy-saving technologies: Collection of materials of the II All-Russian Conference, Kazan, December 09-10, 2024. Kazan: Volga State University of Water Transport, 2024. pp. 180-184.
5. Ivanovskaya A.V., Klimenko N.P., Popov V.V. Statisticheskij analiz otkazov e'lementov palubnogo oborudovaniya ry'bopromy'slovogo sudna. [Statistical analysis of failures of elements of deck equipment of a fishing vessel]. Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov. 2022. T. 14, NO. 3. pp. 440-448.
6. GOST 18855-94 (ISO 281-89) Podshipniki kacheniya dinamicheskaya raschetnaya gruzopod'emnost' i raschetny'j resurs (dolgovechnost') [GOST 18855-94 (ISO 281-89) Dynamic design bearing capacity and design life (durability)]. M. Standartinform, 2009. 26 pp.
7. Ivanovskaya A.V., Zhukov V.A., Shustryakov N.A. Tendencii razvitiya i sovremennyy'e metody' proektirovaniya gruzopod'emny'x ustrojstv ry'bopromy'slovogo sudna. [Development trends and modern methods of design of fishing vessel lifting devices]. Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov. 2024. VOL. 16, NO. 3. pp. 444-455.
8. Ivanovskaya A.V. Formalizaciya dvizheniya buksiruemogo ob'ekta po poverxnosti kak chast' sistemnogo podxoda pri modelirovanii sudovoj lebedki. [Formalization of the movement of the towed object on the surface as part of a systematic approach to modeling the ship's winch]. Bulletin of the Kerch State Marine Technological University. Series: Marine Technology. 2023. № 2. pp. 57-65.
9. Xalyavkin A.A., Sanzhapov A.R., Matveev Yu.I. [i dr.] Povy'shenie nadezhnosti dejdvudny'x podshipnikov putem lazernoj naplavki grebnogo vala. [Improving reliability of stern bearings by laser surfacing of propeller shaft]. Bulletin of the Kerch State Marine Technological University. Series: Marine Technology. 2024. № 3. pp. 42-48.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ивановская Александра Витальевна – к.т.н., доцент, доцент кафедры судовых энергетических установок «Керченский государственный морской технологический университет» (ФГБОУ ВО «КГМТУ»), 298309, Российская Федерация, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, invkerch@yandex.ru

Халывкин Алексей Александрович – к.т.н., доцент кафедры «Судомеханические дисциплины» Каспийского института морского и речного транспорта им. ген.-адм. Ф.М. Апраксина – филиал ФГБОУ ВО

Aleksandra V. Ivanovskaya PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Department of of marine power plants, Kerch State Maritime Technological University, 82 Ordzhonykydze Str., Kerch, 298309, Russian Federation, e-mail: invkerch@yandex.ru

Alexey A. Khalyavkin – PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Department «Ship-mechanical disciplines» Caspian Institute of Sea and River Transport named after General Admiral F.M. Apraksina – the affiliation of

«ВГУВТ», 414000, г. Астрахань, ул.
Никольская, д.6, sopromat112@mail.ru

Борозняк Александр Владимирович – аспирант кафедры судовых энергетических установок «Керченский государственный морской технологический университет» (ФГБОУ ВО «КГМТУ»), 298309, Российская Федерация, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, invkerch@yandex.ru

Шаповал Виталий Валерьевич – аспирант кафедры судовых энергетических установок «Керченский государственный морской технологический университет» (ФГБОУ ВО «КГМТУ»), 298309, Российская Федерация, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, invkerch@yandex.ru

Volga State University of Water Transport,
414000, Astrakhan, Nikolskaya St., 6,
sopromat112@mail.ru

Alexander V. Boroznyak – Postgraduate student of the Department of Marine Power Plants, Kerch State Maritime Technological University, 82 Ordzhonykydze Str., Kerch, 298309, Russian Federation, e-mail: invkerch@yandex.ru

Vitaly V. Shapoval – Postgraduate student of the Department of Marine Power Plants, Kerch State Maritime Technological University, 82 Ordzhonykydze Str., Kerch, 298309, Russian Federation, e-mail: invkerch@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 08.05.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 08.05.2025; published online 20.06.2025.

УДК 62-135

DOI:10.37890/jwt.vi83.593

Характеристики рабочего колеса турбомашины с радиальными лопатками симметричного профиля в режиме компрессора

В.Л. Конюков

А.Н. Горбенко

Керченский государственный морской технологический университет, г. Керчь, Россия

Аннотация. В работе приведены результаты исследований характеристик рабочего колеса турбомашины с радиальными лопатками симметричного профиля, в котором часть лопаток работает в турбинном режиме, часть лопаток работает в компрессорном режиме. Такое сочетание режимов обеспечивается парциальным подводом рабочего тела. Характеристики компрессорной части лопаток определялись условиями энергетического и кинематического балансов турбинных и компрессорных лопаток. Получены зависимости удельных мощностей турбинных и компрессорных частей для различных углов установки лопаток от скоростной характеристики, определяющей режим работы турбинной части. Определено влияние угла установки лопаток на суммарный КПД, учитывающий потери при преобразовании энергии скоростного напора набегающего на турбинные лопатки в энергию рабочего тела на выходе из межлопаточных каналов компрессорной части. Получена зависимость удельного расхода рабочего тела от угла установки лопаток. Характеристики компрессорной части рабочего колеса представлены зависимостями от коэффициента расхода. Выявлено, что для каждого угла установки лопаток имеют место коэффициенты расхода, соответствующие максимальной степени повышения давления и максимальному КПД компрессорной части.

Ключевые слова: рабочее колесо турбомашины, лопатка симметричного профиля, угол установки лопаток, степень парциальности, турбинный режим, компрессорный режим, эксплуатационные характеристики.

Characteristics of a turbomachine impeller with radial blades of symmetrical profile in compressor mode

Viacheslav L. Konyukov

Alexander N. Gorbenko

Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russia

Abstract. The paper presents the results of studies of the characteristics of a turbomachine impeller with radial blades of a symmetrical profile, in which some of the blades operate in turbine mode, and some of the blades operate in compressor mode. This combination of modes is provided by partial supply of the working gas. The characteristics of the compressor part of the blades were determined by the conditions of the energy and kinematic balances of the turbine and compressor blades. The dependences of the specific powers of turbine and compressor parts for different blade installation angles on the speed characteristic determining the operating mode of the turbine part are obtained. The influence of the blade installation angle on the total efficiency, which characterizes the losses during the energy conversion of the velocity pressure incident on the turbine blades into the energy of the working fluid at the outlet of the interblade channels of the compressor part, is determined. The dependence of the specific consumption of the working gas on the blade installation angle was obtained. The characteristics of the compressor part of the impeller are presented as dependencies on the flow coefficient. It was found that for each blade installation angle

there are flow coefficients corresponding to the maximum degree of pressure increase and the maximum efficiency of the compressor part.

Keywords: turbomachine impeller, symmetrical profile blade, blade installation angle, partiality degree, turbine mode, compressor mode, performance characteristics.

Введение

Использование одного и того же рабочего колеса с радиальными лопатками в режимах турбины и компрессора (вентилятора) возможно при установке лопаток симметричного, относительно средней линии, профиля. Это связано с особенностями взаимодействия лопаток с рабочим телом в турбинах и компрессорах [1, 2]. Простейшим вариантом такого конструктивного исполнения является рабочее колесо с плоскими лопатками [3, 4]. При работе рабочего колеса в режиме турбины с выработкой механической энергии выходной угол потока должен быть меньше входного, а в режиме компрессора (вентилятора) с потреблением механической энергии выходной угол потока должен быть больше входного [5, 6]. Такое изменение направления потока в решетках плоских лопаток возможно при их обтекании с углом атаки, при этом, для турбинного режима угол атаки должен быть отрицательным, а для компрессорного режима положительным. Обтекание плоских лопаток с углом атаки вызывает отрыв потока от поверхности, что приводит к резкому увеличению профильных потерь энергии [7, 8, 9]. Природа таких потерь энергии аналогична потерям при повороте лопаток регулируемого соплового аппарата или при нестационарном натекании на входные кромки [10, 11, 12].

Одновременное применение рабочего колеса турбомашин в турбинном и компрессорном режимах возможно при парциальных условиях работы турбинной и компрессорной зоны рабочих лопаток. Такие условия работы приводят к дополнительным потерям энергии от парциальности, основную долю которых составляют потери на выколачивание [13, 14]. Потери энергии на выколачивание будут иметь место и при периодической работе всей проточной части в турбинном и компрессорном режиме.

Выполненные расчетно-теоретические исследования рабочего колеса с радиальными плоскими лопатками в турбинном режиме показали работоспособность такого устройства для получения механической энергии [4]. Процесс взаимодействия плоских лопаток с рабочим телом сопровождался высокими профильными потерями энергии и потерями энергии от парциальности. В результате расчетный КПД такого режима не превысил 27%.

Характерной особенностью компрессорного (вентиляторного) режима является течение газа в межлопаточном канале с положительным градиентом давления. Это изменяет склонность потока к отрыву, что отражается на его КПД. Для повышения работоспособности турбинного режима целесообразно понижать угол установки лопаток рабочего колеса, что приводит к снижению потерь с выходной скоростью [4], а для компрессорного режима желательнее увеличивать угол установки лопаток, что позволяет увеличивать теоретический напор [1, 15]. Характеристики компрессорного режима определяются энергетическими и кинематическими параметрами совместной работы турбинной и компрессорной части рабочего колеса. Следует отметить, что определяющую роль играет турбинная часть рабочего колеса, вырабатывающая механическую энергию для работы компрессорной части.

Цель работы – анализ характеристик рабочего колеса с радиальными лопатками симметричного профиля при совместной работе части лопаточного аппарата турбинного режима с частью лопаточного аппарата компрессорного режима и оценка эксплуатационных показателей компрессорной части рабочих лопаток.

Материалы и методы исследования

Настоящая работа является логическим продолжением работы [4]. В связи с этим описание и характеристики объекта исследований приведены в указанной работе. Дополнительно следует отметить, что геометрические характеристики компрессорной части полностью соответствовали геометрическим характеристикам турбинной части, и степень парциальности компрессорной части была принята равной степени парциальности турбинной части и составила $\varepsilon=0,25$. Под степенью парциальности понимают отношение площади проходного сечения активной зоны турбинной или компрессорной части лопаток к общей площади проходного сечения рабочего колеса. Исследования проводились расчетно-теоретическим способом. Показатели совместной работы турбинной и компрессорной части обрабатывались в зависимости от скоростной характеристики, соответствующей турбинной части, которая представляла отношение окружной скорости на среднем диаметре к скорости скоростного напора потока, набегающего на турбинные лопатки $v = u/c_{1T}$. В связи с большей чувствительностью газодинамических характеристик проточной части компрессора к углам атаки набегающего потока, диапазон изменения скоростной характеристики v был снижен и, в исследованиях компрессорной части, скоростная характеристика изменялась от 0 до 0,8. При исследовании турбинной части рабочего колеса выявлена существенная зависимость ее эксплуатационных показателей от угла установки рабочих лопаток [4]. В связи с этим исследования компрессорной части проводились при тех же углах установки лопаток, которые изменялись в интервале от 10 град. до 40 град.

В качестве рабочего тела использовался воздух ($R=287,3 \frac{Дж}{кг \cdot К}$, $k=1,4$), температура воздуха на входе в рабочее колесо принята $T_1 = 500 K$, давление за рабочим колесом $p_2=0,1013$ МПа. Исследования проводились при постоянной энергии скоростного напора, скорость которого принята $c_{1T}=296,3$ м/с.

Энергетические и кинематические условия совместной работы турбинной и компрессорной части рабочего колеса определялись соотношениями равенства мощностей турбины N_T и компрессора N_K , а также равенства окружных скоростей турбины u_T и компрессора u_K

$$N_T \eta_M = N_K, \quad u_T = u_K = u, \quad (1)$$

где η_M – механический КПД рабочего колеса (принято $\eta_M=0,99$).

Мощности турбинной и компрессорной части вычислялась по известным соотношениям [3, 6, 7], которые после преобразования были приведены к выражениям:

$$N_T = f_T \psi_T \eta_T \frac{c_{1T}^3}{\sin \beta_{1T}} \frac{p_2}{2R \left(T_1 + \psi_T^2 \frac{c_{1T}^2}{2c_{pT}} \sin \beta_{1T} \right)}, \quad (2)$$

$$N_K = f_K \psi_K^2 \varphi^3 u_K^3 \frac{\cos \beta_{2K}}{\eta_K \sin^2 \beta_{2K}} \frac{p_2 \left(\sqrt{1 + \varphi^2} \cos \beta_{1K} \operatorname{tg} \beta_{2K} - \varphi \right)}{R \left[T_1 \pi_K^{\frac{k-1}{k}} + \left(\frac{1}{\psi_K^2} - 1 \right) \frac{\varphi^2 u_K^2}{2c_{pK}} \right]}, \quad (3)$$

где в приведенных уравнениях параметры турбины и компрессора соответственно обозначены индексами «Т» и «К», здесь: f – площадь проходного сечения исследуемой зоны рабочего колеса; ψ – коэффициент скорости исследуемой зоны; η – коэффициент полезного действия исследуемой зоны; φ – коэффициент расхода

(только для компрессорной части); u - окружная скорость на среднем диаметре; β_1 - угол потока на входе в рабочее колесо; β_2 - угол потока на выходе из рабочего колеса; c_p – изобарическая теплоемкость воздуха; π_k – степень повышения давления в компрессорной части.

Коэффициенты полезного действия турбинной и компрессорной части с учетом потерь энергии от парциальности вычислялись по уравнениям [1, 13]:

$$\eta_T = 2v^2 \left[\left(\psi_T \frac{\cos\beta_{2T}}{\cos\beta_{1T}} - 1 \right) - \frac{1}{\pi\varepsilon} \left(0,1 \frac{v^2}{\sin\beta_{1T}} + 0,2 \frac{v}{\lambda\sin\beta_{1T}} \right) \right], \quad (4)$$

$$\eta_K = 0,99 \left[\psi_K^2 - \frac{1}{\pi\varepsilon} \left(0,2 \frac{\varphi^2}{\sin\beta_{1K}} + 0,4 \frac{\varphi}{\lambda\sin\beta_{1K}} \right) \right], \quad (5)$$

где λ – отношение среднего диаметра к длине лопатки (в исследованиях принято $\lambda=12$).

Коэффициент скорости для турбинной и компрессорной части определялся по выражению [15]

$$\psi = \sqrt{\psi_0 - 0,0754 \left[1 - \left(\frac{\sin\beta_2}{\sin\beta_1} \right)^2 \right] - 0,345 \left(\frac{\sin i}{\sin\beta_1} \right)^2}, \quad (6)$$

где ψ_0 – коэффициент скорости при безударном обтекании лопаток рабочего колеса ($i=0$); i – угол атаки при обтекании лопаток рабочего колеса.

В процессе проведения исследований были приняты абсолютно одинаковые геометрические характеристики турбинной и компрессорной части, что соответствовало одинаковым площадям проходного сечения $f_T = f_K = f$. В связи с этим в работе выполнен анализ удельных мощностей турбины и компрессора. За удельную мощность принималось отношение мощности к единице площади проходного сечения рабочего колеса

$$\bar{N}_T = \frac{N_T}{f}, \bar{N}_K = \frac{N_K}{f}. \quad (7)$$

В качестве единицы площади проходного сечения была принята величина $f=10^{-4}$ м². При этом и расход рабочего тела соответствовал принятой единице площади проходного сечения. Использование таких удельных мощностей и расходов рабочего тела позволяет получить более универсальные результаты без конкретных значений размеров средних диаметров и длин лопаток рабочего колеса.

Результаты исследований и их обсуждение

Зависимости удельной мощности турбинной и компрессорной части от скоростной характеристики, пропорциональной окружной скорости рабочих лопаток, для различных углов установки лопаток приведены на рис. 1. Здесь пунктирными линиями показаны зависимости для турбинной части, а сплошными линиями – для компрессорной части. Приведенные позиции отмечают кривые, соответствующие конкретному углу установки лопаток рабочего колеса турбомшины β_y : 1 - $\beta_y=10$ град.; 2 - $\beta_y=20$ град.; 3 - $\beta_y=30$ град.; 4 - $\beta_y=40$ град. Из рисунка следует, что наибольшее использование скоростного напора, натекающего на турбинную часть рабочего колеса, соответствует $\beta_y=30$ град. При этом, компрессорная зона лопаток потребляет мощность, на 25% меньшую максимальной мощности рабочих лопаток турбинного режима. Баланс мощностей, согласно уравнению (1), выполняется при скоростных характеристиках, соответствующих повышенным окружным скоростям,

при которых существенно увеличиваются потери энергии с выходной скоростью турбинной зоны лопаток.

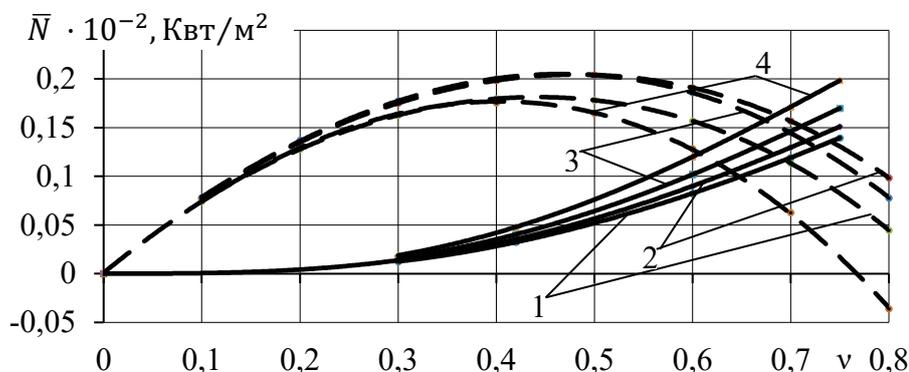


Рис. 1. Зависимости удельной мощности турбинной и компрессорной части рабочего колеса от скоростной характеристики

Эффективность преобразования энергии при взаимодействии потока с рабочими лопатками турбинной и компрессорной части оценивалась соответствующими КПД, которые вычислялись по уравнениям (4) и (5). Суммарный КПД такого преобразования энергии вычислялся по уравнению

$$\eta_{\text{тк}} = \eta_{\text{т}} \eta_{\text{к}} \eta_{\text{м}} \quad (8)$$

Зависимость суммарного КПД преобразования энергии скоростного напора турбинной части в энергию рабочего тела за компрессором, для параметров, соответствующих условиям баланса мощностей в зависимости от угла установки лопаток приведена на рис.2. Из рисунка следует, что для исследованных вариантов наибольшее значение суммарного КПД соответствует $\beta_y=20$ град., в то время как наибольшая мощность турбинной части используется при $\beta_y=30$ град. Это вызвано тем, что часть энергии, потребляемой компрессорной частью расходуется на увеличение расхода рабочего тела, который при $\beta_y=30$ град. будет больше, см. рис. 3.

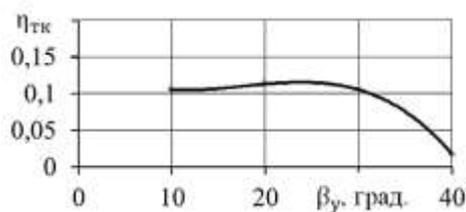


Рис. 2. Зависимость суммарного КПД от угла установки лопаток

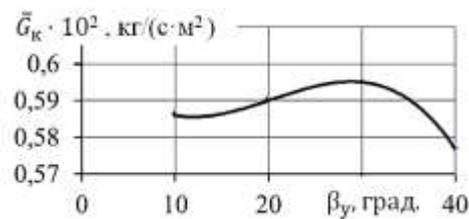


Рис. 3. Зависимость удельного расхода компрессорной части от угла установки лопаток

Исследования характеристик компрессорной части рабочего колеса с лопатками симметричного профиля проводились при постоянной окружной скорости, соответствующей скоростной характеристике $v=0,7$ ($u=207,4$ м/с). Результаты исследований обрабатывались в зависимости от коэффициента расхода, который изменялся от 0 до 1,0. Коэффициент расхода представляет отношение осевой составляющей абсолютной скорости потока на входе в рабочее колесо к окружной скорости $\varphi = c_{1a}/u$.

Зависимость степени повышения давления π_k от коэффициента расхода для различных углов установки лопаток приведена на рис.4. Здесь и далее, позиции, определяющие углы установки лопаток β_y соответствуют величинам, приведенным на рис.1. Из рисунка следует, что для каждого угла установки лопаток существует коэффициент расхода φ_{max} , соответствующий максимальному значению степени повышения давления π_{kmax} . Увеличение угла установки лопаток смещает φ_{max} в сторону больших значений. В то же время, с ростом β_y имеет место тенденция к повышению π_{kmax} . Для всех рассмотренных вариантов β_y максимальное значение степени повышения давления находилось в диапазоне $\pi_{kmax}=1,12$. В многоступенчатых осевых компрессорах промышленного типа, работающих на номинальных режимах, степень повышения давления в одной ступени составляет приблизительно 1,2. На основании этого можно сделать вывод, что рабочее колесо с радиальными лопатками симметричного профиля можно, достаточно эффективно, использовать для дополнительного повышения давления за рабочим колесом или для понижения давления перед рабочим колесом компрессорной части. Например, при истечении воздуха из рабочего колеса в атмосферу, давление перед компрессорной частью понизится на 12%.

Степень повышения давления зависит от коэффициента напора. Под теоретическим коэффициентом напора понимают отношение теоретического напора к динамическому напору рабочих лопаток $\bar{H}_T = \frac{l_0}{u^2/2}$. Коэффициент напора определяет степень повышения давления и влияет на экономичность компрессорной ступени. Он зависит от геометрических характеристик и режима работы. Изменение теоретического коэффициента напора показано на рис.5. Для каждого β_y , уменьшение коэффициента расхода приводит к увеличению \bar{H}_T . Это связано с увеличением доли энергии, подведенной к компрессорной зоне рабочих лопаток на повышение давления, по сравнению с долей энергии, затраченной на повышение расхода.

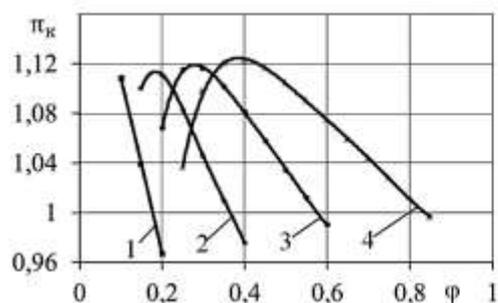


Рис. 4. Зависимость степени повышения давления от коэффициента расхода

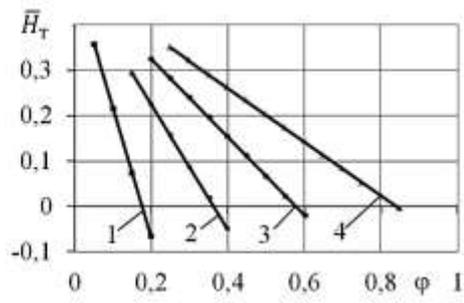


Рис. 5. Зависимость коэффициента напора от коэффициента расхода

Эффективность преобразования механической энергии компрессорной частью рабочих лопаток оценивалась соответствующим КПД η_k , который вычислялся по уравнению (5). Изменение η_k в зависимости от коэффициента расхода показано на рис.6. Для каждого исследованного угла установки лопаток существует оптимальное значение коэффициента расхода φ_{opt} , соответствующее максимальной величине η_k . Увеличение β_y вызывает смещение φ_{opt} в сторону больших значений, и при этом, происходит снижение максимального значения КПД. Из графиков следует, что уменьшение коэффициента расхода относительно φ_{opt} приводит к резкому снижению КПД. Это можно объяснить резким снижением коэффициента скорости ψ (см. рис. 7). Коэффициент скорости учитывает профильные и концевые потери энергии, существенную долю которых составляют срывные потери энергии, при обтекании лопаток с углом атаки.

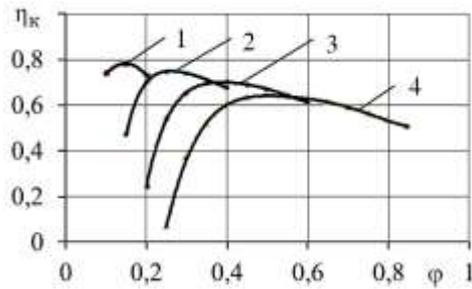


Рис. 6. Зависимость КПД компрессорной зоны от коэффициента расхода

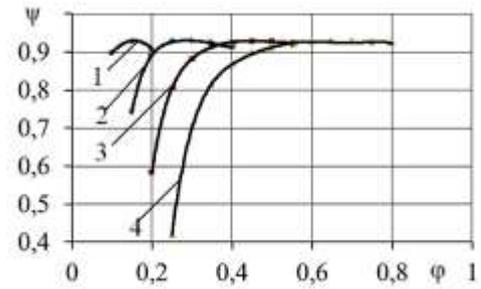


Рис. 7. Зависимость коэффициента скорости от коэффициента расхода

Проведенные исследования показали, что расчетный КПД компрессорной части рабочих лопаток выше расчетного КПД турбинной части. Это можно объяснить существенно меньшими скоростями рабочего тела в межлопаточных каналах компрессорной части.

Выводы

Расчетно-теоретические исследования рабочего колеса турбомашин с радиальными лопатками симметричного профиля показали целесообразность использования части рабочих лопаток в режиме компрессора (вентилятора) использующей механическую энергию турбинной части рабочих лопаток, что может быть реализовано при парциальном подводе рабочего тела.

Энергетический баланс турбинной и компрессорной части рабочего колеса для всех исследованных углов установки лопаток соответствовал скоростным характеристикам (окружным скоростям) существенно превышающим значения, соответствующие максимальным КПД турбинной части, что привело к снижению экономичности турбинных лопаток по причине увеличения потерь энергии с выходной скоростью.

Анализ характеристик компрессорной части рабочего колеса показал, что увеличение угла установки рабочих лопаток приводит к увеличению максимальной степени повышения давления, однако максимальное значение КПД, при этом, снижается. С увеличением угла установки лопаток коэффициенты расхода, соответствующие максимальной степени повышения давления и соответствующие максимальному КПД компрессора смещаются в сторону больших значений.

Высокие потери энергии в турбинной части рабочих лопаток снижают мощность компрессорной части. В связи с этим скорости рабочего тела в межлопаточных каналах компрессорных лопаток существенно ниже скоростей в межлопаточных каналах турбинных лопаток. Это объясняет тот факт, что расчетный КПД компрессорной части рабочих лопаток выше расчетного КПД турбинной части.

Список литературы

1. Аэродинамика турбин и компрессоров. Под ред. У.Р. Хауторна. Перевод с англ. М.: Машиностроение, 1968. 742 с.
2. Зайцев В.И., Грицай Л.Л., Моисеев А.А. Судовые паровые и газовые турбины. М.: Транспорт, 1981. 312 с.
3. Паровые турбины (третий век на службе) // Двигатель. 2005. № 2(38). С.12. URL: <http://engine.aviaport.ru/issues/38/page30.html>
4. Конюков В.Л., Горбенко А.Н., Плющаев В.И., Викулов С.В., Михеева Т.А. Особенности характеристик рабочего колеса турбомашин с радиальными лопатками симметричного профиля в режиме турбины // Морские интеллектуальные технологии. 2024. № 4 часть 2. С.64-69. DOI: 10.37220/МИТ.2024.66/060
5. Топунов А.М. Теория судовых турбин. Л.: Судостроение, 1982. 472 с.

6. Кириллов И.И. Теория турбомашин. Л.: Машиностроение, 1972. 533 с.
7. Курзон А.Г. Теория судовых паровых и газовых турбин. Л.: Судостроение, 1970. 592 с.
8. Конюков В.Л. Расширение диапазона допустимых нагрузок судового четырехтактного дизеля при использовании регулируемого соплового аппарата турбокомпрессора // Научные проблемы водного транспорта. 2024. №79(2). С. 114-121. DOI: 10.37890/jwt.vi79.494
9. Левенталь М.Ю. Оценка погрешности численного метода газодинамики при расчете профильных потерь в турбинных решетках // Труды С-Пб ГМТУ. 2014. №2. С. 8-11.
10. Конюков В.Л., Василенко Е.Е. Анализ эксплуатационных характеристик турбинной ступени при повороте лопаток регулируемого соплового аппарата // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2021. №3. С. 95-109. DOI: 10.47404/2619-0605_2021_3_95
11. Grishin Y. Unsteady Flow Pulses Interaction with a Turbine / CIMAC Congress. Helsinki. – June 6-10. 2016. no308. pp. 34-39.
12. Гришин Ю.А. Взаимодействие импульсов нестационарного течения потока газов с турбиной // Двигателестроение. 2017. № 2(268). С. 11-14.
13. Щегляев А.В. Паровые турбины. Теория теплового процесса и конструкции турбин. М.: Энергоатомиздат, 1993. 385 с.
14. Зайцев Ю.И. Основы проектирования судовых паровых турбоагрегатов. Л.: Судостроение, 1974. 437 с.
15. Степанов Г.Ю. Гидродинамика решеток турбомашин. М.: Физматгиз, 1972. 533 с.

References

1. Aerodinamika turbin i kompressorov [Aerodynamics of Turbines and Compressors]. Pod red. W.R. Hawthorne. Perevod s angl. - M.: Mashinostroenie Publ., 1968. 742 p.
2. Zajcev V.I., Gricaj L.L., Moiseev A.A. Sudovye parovye i gazovye turbiny [Marine steam and gas turbines]. M.: Transport Publ., 1981. 312 p.
3. Parovye turbiny (tretij vek na sluzhbe) [Steam turbines (third century in service)], Dvigatel. 2005, no. 2, issue 38, pp. 12. URL: <http://engine.aviaport.ru>
4. Konyukov V.L., Gorbenko A.N., Plyushchaev V.I., Vikulov S.V., Miheeva T.A. Osobennosti harakteristik rabocheho koleasa turbomashiny s radial'nymi lopatkami simmetrichnogo profilya v rezhime turbiny [Features of the characteristics of the turbomachine impeller with radial blades of symmetrical profile in turbine mode]. Morskije intelektual'nye tekhnologii. 2024, no.4 part 2, pp. 64-69. (in Russ.). DOI: 10.37220/MIT.2024.66/060
5. Topunov A.M. Teoriya sudovyh turbin [Theory of marine turbines]. - L.: Sudostroenie Publ., 1982. 472 p.
6. Kirillov I.I. Teoriya turbomashin.[Theory of turbomachines]. - L.: Mashinostroenie Publ., 1972. 533 p.
7. Kurzon A.G. Teoriya sudovyh parovyh i gazovyh turbin [Theory of marine steam and gas turbines]. - L.: Sudostroenie Publ., 1970. 592 p.
8. Konyukov V.L. Rasshirenie diapazona dopustimyh nagruzok sudovogo chetyrehtaktnogo dizelya pri ispol'zovanii reguliruемого soploвого apparata turbokompressora [Expansion of the range of permissible loads of a marine four-stroke diesel engine using an adjustable nozzle apparatus of a turbocharger]. Nauchnye problemy vodnogo transporta. 2024, no. 79(2), pp. 114-121. (in Russ.). DOI: 10.37890/jwt.vi79.494
9. Levental' M.Yu. Ocenka pogreshnosti chislennogo metoda gazodinamiki pri raschete profil'nyh poter' v turbinnyh reshetkah [Estimation of the error of the numerical method of gas dynamics in calculating profile losses in turbine cascades]. Trudy S-PbGMTU. 2014, no. 2, pp. 8-11. (in Russ.).
10. Konyukov V.L., Vasilenko E.E. Analiz ekspluatatsionnyh harakteristik turbinnoj stupeni pri povorote lopatok reguliruемого soploвого apparata [Analysis of the operational characteristics of the turbine stage when rotating the blades of the adjustable nozzle apparatus]. Vestnik Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2021, no. 3, pp. 95-109. (in Russ.). DOI: 10.47404/2619-0605_2021_3_95
11. Grishin Yu. Unsteady Flow Pulses Interaction with a Turbine / CIMAC Congress. Helsinki. – June 6-10. 2016, no. 308. pp. 34-39.

12. Grishin Yu. A. Vzaimodejstvie impul'sov nestacionarnogo techeniya potoka gazov s turbinoj [Interaction of pulses of non-stationary gas flow with a turbine]. Dvigatelsestroenie. 2017, no. 2(268), pp. 11-14.
13. Shcheglyayev A.V. Parovye turbiny. Teoriya teplovogo processa i konstrukcii turbin [Steam turbines. Theory of the thermal process and turbine design]. - M.: Energoatomizdat Publ., 1993. 385 p.
14. Zajcev Yu.I. Osnovy proektirovaniya sudovyh parovyh turboagregatov [Fundamentals of the design of marine steam turbine units]. - L.: Sudostroenie Publ., 1974. 437 p.
15. Stepanov G.Yu. Gidrodinamika reshetok turbomashin [Hydrodynamics of turbomachine gratings]. - M.: Fizmatgiz Publ., 1972. 533 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кониюков Вячеслав Леонтьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры судовых энергетических установок, Керченский государственный морской технологический университет, 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, e-mail: seykgmtu@mail.ru

Горбенко Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры судовых энергетических установок, Керченский государственный морской технологический университет, 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, e-mail: gan0941@yandex.ru

Viacheslav L. Konyukov, Ph. D. (Eng.), associate professor, associate professor of the Department of ship power plants, Kerch State Maritime Technological University, Ordzhonikidze str., 82, Republic of Crimea, Kerch, 298309, Russian Federation, e-mail: seykgmtu@mail.ru

Alexander N. Gorbenko, Ph. D. (Eng.), associate professor, associate professor of the Department of ship power plants, Kerch State Maritime Technological University, Ordzhonikidze str., 82, Republic of Crimea, Kerch, 298309, Russian Federation, e-mail: gan0941@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 20.03.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 20.03.2025; published online 20.06.2025.

УДК 621.6.03

DOI: 10.37890/jwt.vi83.594

Модель теплообмена в стенде термического обезвреживания нефтесодержащих вод

О.П. Шураев

В.А. Чернов

А.Г. Чичурин

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

Аннотация. В статье продолжен анализ результатов отсеивающего эксперимента на стенде термического обезвреживания нефтесодержащих вод. На этот раз рассмотрен закон распределения температуры газа по длине газохода на установившемся режиме в процессе его прогрева перед подачей нефтесодержащей воды. Установлено, что на этапе прогрева распределение температуры газа по длине газохода подчиняется экспоненциальному закону. При нормировании значений температуры относительно показаний первой по ходу газа термопары и переходе к безразмерным значениям получено эталонное распределение температуры, зависящее только от одного параметра. Этот параметр характеризует интенсивность теплопередачи от газа в газоходе к окружающей среде. Показано, что он может быть вычислен путем определения коэффициентов теплоотдачи от газа в газоходе к его стенкам и от стенок к окружающей среде, и последующего определения коэффициента теплопередачи. С другой стороны, указанный параметр определяется при аппроксимации экспериментальных данных экспоненциальной зависимостью. Приведен пример его определения в Mathcad и Excel. Полученные результаты исследования будут востребованы при моделировании температурного поля в газоходе при подаче нефтесодержащей воды для ее обезвреживания.

Ключевые слова: судовые нефтесодержащие воды; термическое обезвреживание; газоход судового двигателя; одномерное температурное поле; расчет коэффициентов теплоотдачи

Model of heat exchange in the stand of thermal neutralization of oil-containing waters

Oleg P. Shurayev

Vladimir A. Chernov

Alexander G. Chichurin

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article continues the analysis of the results of the screening experiment on the stand of thermal neutralization of oil-containing waters. This time, the law of gas temperature distribution along the flue length in the steady state during its heating before the supply of oil-containing water is considered. It is established that at the heating stage, the gas temperature distribution along the flue length obeys the exponential law. When normalizing the temperature values relative to the readings of the first thermocouple along the gas flow and switching to dimensionless values, a reference temperature distribution is obtained that depends on only one parameter. This parameter characterizes the intensity of heat transfer from the gas in the flue to the environment. It is shown that it can be calculated by determining the heat transfer coefficients from the gas in the flue to its walls and from the walls to the environment, and then determining the heat transfer coefficient. On the other hand, this parameter is determined by approximating the experimental data with an exponential dependence. An example of its determination in Mathcad and Excel is given.

The obtained research results will be in demand when modeling the temperature field in a flue when supplying oil-containing water for its neutralization.

Keywords: marine oil-containing waters; thermal decontamination; marine engine flue; one-dimensional temperature field; calculation of heat transfer coefficients.

Введение

Весьма перспективным способом обезвреживания нефтесодержащих вод (НСВ) является термический, суть которого состоит в том, чтобы НСВ подавались в поток горячего газа. В таком потоке вода из состава НСВ будет испаряться, а углеводороды – разлагаться на простейшие компоненты с последующим окислением в предельном случае до CO_2 и H_2O . В судовых условиях потоком горячего газа могут являться продукты сгорания топлива в главных и вспомогательных двигателях.

Продукты сгорания топлива судовых двигателей внутреннего сгорания включают в себя продукты полного (CO_2 и H_2O), неполного (CO , C_xH_y и др.) сгорания, остаточный воздух, не участвовавший в горении ($\text{N}_2 + \text{O}_2$) и оксиды азота (NO_x). При работе на сернистых топливах в составе продуктов сгорания появляются оксиды серы SO_2 и SO_3 . То есть продукты сгорания изначально содержат вредные (загрязняющие) вещества в своем составе. По некоторым из них существуют национальные (например, [1, 2]) и/или международные [3] нормативные документы, ограничивающие выбросы этих веществ в атмосферу. Естественно, что установка дополнительного оборудования в газоходе двигателя должна не ухудшать его экологические параметры.

Для изучения процессов огневого обезвреживания разработан лабораторный стенд [4], который адекватно имитирует газовую среду в выпускном трубопроводе судовых ДВС.

Проведенные эксперименты [5, 6] показали, что важную роль в протекании физических и химических процессов играет температура и ее изменение по длине газохода. Математическое описание распределения температуры по длине газохода, согласованное с полученными экспериментальными данными, и будет являться целью данного исследования.

Методы исследования

Основу экспериментального стенда (рис. 1) составляет газоход в виде трубы диаметром 49.5 / 53 мм расположенный горизонтально, с небольшим уклоном в сторону выхода газа. В трубе движутся газообразные продукты сгорания пропан-бутановой смеси из баллона. Расход газа из баллона измеряется массовым способом. Дополнительно засасываемый воздух оценивается коэффициентом избытка воздуха, рассчитываемым газоанализатором АГМ-510МВ по данным измерений газового состава образующихся продуктов сгорания. В поток продуктов сгорания может подаваться под давлением НСВ с малым содержанием нефтепродуктов.

Изменение температуры газовой среды в трубе определяется с помощью пяти термопар ($T_{02} \dots T_{06}$), установленных через 300 мм по длине газохода. Температура наружной поверхности газохода в местах установки термопар измеряется с помощью пирометра. Для измерения температуры окружающей среды используется датчик ВМЕ280, установленный в блоке регистрации измерений БРИЗ-АТ. Все контролируемые в ходе эксперимента параметры стенда измеряются с заданной периодичностью и записываются на карту памяти.

В рамках отсеивающего эксперимента на стенде проведены четыре опыта, в которых по заданному плану варьировались на двух уровнях три фактора. В качестве факторов приняты температура продуктов сгорания, варьируемая путем изменения количества сжигаемого газа из баллона и изменения расстояния между срезом сопла горелки и входом в газоход; концентрация нефтепродукта в ее смеси с водой,

задаваемая смешиванием заранее отмеренных объемов воды и нефтепродукта; и давление в трубопроводе подачи нефтесодержащих вод, создаваемое воздушной подушкой в баке.



Рис. 1. Стенд для термического обезвреживания нефтесодержащих вод
 1 – напорный бак, 2 – газоход, 3 – источник горячих газов, 4 – блок регистрации измерений, 5 – компрессор, 6 – зонд газоанализатора

Каждый опыт состоял из трех этапов (рис. 2). Первым этапом был режим прогрева, в ходе которого за счет продуктов сгорания газа из баллона устанавливалась требуемая температура в газоходе. На втором этапе в поток горячих газов подавалась вода с некоторым количеством нефтепродуктов. Третий этап представлял собой работу стенда после израсходования отмеренного количества нефтесодержащей воды и сопровождался повышением температура газа.

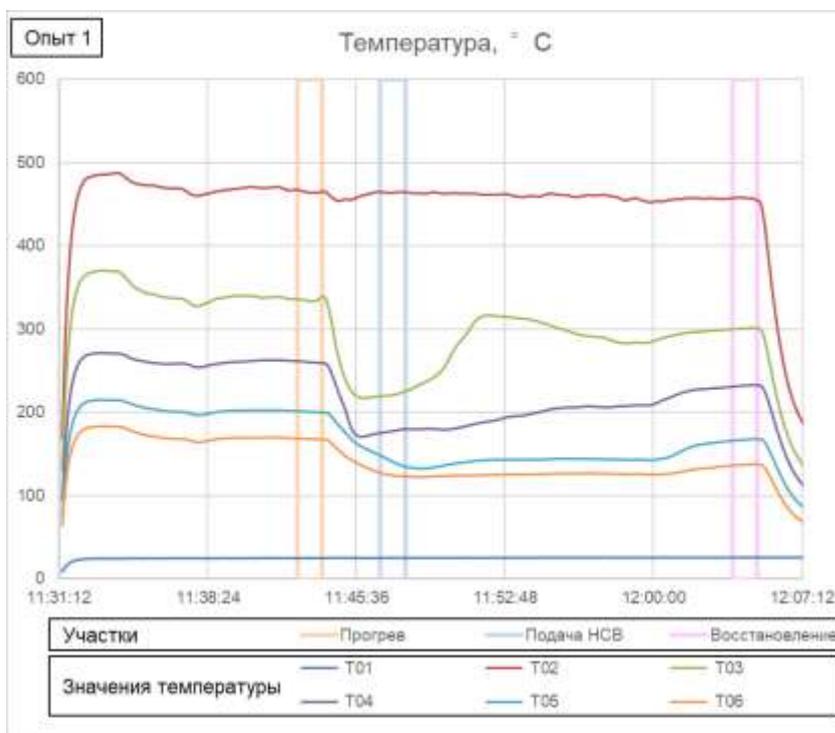


Рис. 2. Изменение температуры по длине газохода в ходе опыта

Два последних этапа проведения опытов зависят от установления стабильного теплового состояния на этапе прогрева, поэтому следует определить факторы, влияющие на температурное поле при прогреве газохода. Очевидно, что концентрация нефтепродукта в НСВ и общее количество подаваемой на втором этапе НСВ не оказывают влияния на температуру в газоход на этапе прогрева. Следовательно, единственным фактором из плана эксперимента, влияющим на температурное поле в период прогрева, является температура на входе в газоход, измеряемая термопарой T02. Заметим, что после подачи НСВ температура в месте установки термопары T02 изменялась по сравнению с установившемся значением на этапе прогрева. То есть, особенностью данного эксперимента является тот факт, что температура T02 выступает и в качестве управляемого фактора на этапе прогрева, и в качестве отклика на следующих этапах.

Результаты и их обработка

На температурных графиках на этапе прогрева (см. рис. 2) выделим участок, когда все температуры стабилизировались и выполним усреднение каждой температуры в каждом опыте (Таблица 1). По измеренным значениям температуры определим параметры теплообмена продуктов сгорания в трубе с воздушной средой снаружи трубы. Передача теплоты от газа в трубе к внутренним стенкам трубы осуществляется вынужденной конвекцией и излучением, а от наружной поверхности трубы к окружающему воздуху – естественной конвекцией.

Таблица 1

Усредненные показания термопар в опытах на режиме прогрева стенда

Номер опыта	T02	T03	T04	T05	T06
1	465	335	260	201	168
2	574	475	349	257	228
3	480	356	262	202	165
4	569	476	362	277	244

Расчет конвективного теплообмена ведем через определение коэффициента теплоотдачи по следующей схеме [7]:

1. Устанавливается определяющая температура жидкости t_f .
2. По справочным таблицам или по аппроксимационным уравнениям при определяющей температуре t_f жидкости находятся ее теплофизические параметры: кинематическая ν_f (и/или динамическая μ_f) вязкость, плотность ρ_f , теплоемкость c_{pf} , число Прандтля Pr_f и др. Для некоторых случаев также требуется определить теплофизические параметры жидкости при температуре стенки t_w (они обозначаются индексом «w»).
3. Определяется число Рейнольдса Re_f , являющееся характеристикой движения жидкости. Определяющим размером в рассматриваемом случае является внутренний/ наружный диаметр трубы.
4. Для заданного теплоносителя, учитывая режим движения, выбирается подходящее уравнение подобия, по которому вычисляется число Нуссельта Nu .
5. С помощью поправочных коэффициентов учитывается влияние на теплообмен различных дополнительных факторов.
6. По числу Нуссельта вычисляется коэффициент теплоотдачи α .

Эта схема может быть применена и при расчете вынужденной конвекции в трубе, и при расчете свободной конвекции около горизонтально расположенной трубы [8].

В качестве источника горячих продуктов сгорания на стенде использован газ, образующийся при сгорании пропан-бутановой смеси из баллона. Принимая равные доли указанных компонентов в смеси получим теоретически необходимое количество воздуха для ее полного сгорания $L_0 = 15.7 \frac{\text{кг воздуха}}{\text{кг топлива}}$, а низшую теплоту сгорания $Q_H = 46.8 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$. Расход газов в опытах приведен в таблице 2. Массовый расход пропан-бутановой смеси m_f и коэффициент избытка α воздуха получены по результатам непосредственных измерений, действительное количество воздуха L_1 определялось по формуле

$$L_1 = \alpha \cdot L_0, \tag{1}$$

а массовый расход продуктов сгорания рассчитывался как

$$m_\tau = m_f \cdot (\alpha \cdot L_0 + 1). \tag{2}$$

Таблица 2

Расход газа из баллона в опытах

Номер опыта	Массовый расход газа, m_f , г/с	Коэффициент избытка воздуха, α	Действительное количество воздуха, L_1 , кг/кг	Массовый расход продуктов сгорания, m_τ , г/с
1	0.020	2.66	41.73	0.85
2	0.026	2.74	43.08	1.17
3	0.018	2.54	39.93	0.75
4	0.022	2.42	37.95	0.84

Коэффициенты теплоотдачи рассчитывались по рассмотренной выше методике для каждого опыта (Таблица 3). Из данных таблицы следует, что теплообмен от газа к стенкам газохода изменялся от опыта к опыту, а условия теплообмена между поверхностью газохода и окружающей средой оставались неизменными в течение всего эксперимента.

Таблица 3

Определение коэффициентов теплоотдачи

Номер пп.	Способ определения	Значение	Способ определения	Значение
1	$t_f = \frac{t_{T02} + t_{T06}}{2}$	316	$t_f = \frac{t_w + t_{окр}}{2}$	84
		401		84
		323		81
		407		84
2	По таблицам или аппроксимационным формулам [8] определяются кинематическая вязкость ν , теплопроводность λ , число Прандтля Pr и другие теплофизические параметры газообразных продуктов сгорания и воздуха			
3	$Re = \frac{m_\tau \cdot d_{вн}}{\rho_f \cdot \nu_f \cdot S}$	703	$Gr = \frac{1}{t_m} \cdot \frac{g \cdot d_H^3}{\nu_{air}^2} \cdot (t_w - t_{окр})$	$1.143 \cdot 10^6$
		884		$1.222 \cdot 10^6$
		611		$1.096 \cdot 10^6$
		632		$1.141 \cdot 10^6$
4	По уравнению подобия [7] $Nu_1 = 1.64 \cdot \left(Re \cdot \frac{d_{вн}}{L} \right)^{0.33} \cdot C_1 \cdot Ra^n$	16.3	По уравнению подобия [9] $Nu_2 = 0.46 \cdot Gr^{0.25}$	15.0
		17.5		16.6
		14.7		14.9
		12.5		11.8
5	$\varepsilon_L = 1 + 2 \cdot \frac{d_{вн}}{L}$	1.059	-	-
6	$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_f}{d_{вн}}$	16.2	$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_{air}}{d_H}$	8.5
		19.9		9.4
		14.8		8.3
		14.4		6.75

По полученным значениям коэффициентов теплоотдачи рассчитывался коэффициент теплопередачи. При рассмотрении тонкостенной трубы расчет допустимо вести по формуле для плоской стенки [10]

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_w} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3)$$

Так как $\frac{\lambda_w}{\delta} = 25714 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \gg \alpha_1$ и α_2 , то формулу (3) можно записать в виде

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ или } k = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad (4)$$

В результате получаем 4 значения коэффициента теплопередачи k :

Опыт.	Значение k , Вт/(м ² ·К)
1.....	5.6
2.....	6.4
3.....	5.3
4.....	4.6

Запишем уравнения теплопередачи и теплового баланса – основные уравнения, описывающие теплопередачу в теплообменных аппаратах,

$$\begin{cases} \delta\Phi = k \cdot dA \cdot \Delta t_{\perp} \\ \delta\Phi = m_{\tau} \cdot c_p \cdot (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}})' \end{cases} \quad (5)$$

где $\delta\Phi$ - элементарный передаваемый тепловой поток, Вт; k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); dA – площадь элемента теплообменной поверхности, м²; Δt_{\perp} - разность температуры (температурный напор) в радиальном направлении, c_p – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); $(t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}})$ – изменение температуры в направлении оси x , совпадающей с осью трубы, К.

Учитывая, что теплота от продуктов в газоходе передается в окружающую среду, можно записать $\Delta t_{\perp} = (t_{T02} - \delta t) - (t_{\text{окр}})$, а входную и выходную температуру в газоходе можно представить как $t_{\text{вх}} = t_{T02}$ и $t_{\text{вых}} = t_{\text{окр}}$. Тогда

$$\frac{(t_{T02} - \delta t) - (t_{\text{окр}})}{t_{T02} - t_{\text{окр}}} = \frac{k \cdot dA}{m_{\tau} \cdot c_p} \quad (6)$$

Выражение в знаменателе левой части формулы (6) $t_{T02} - t_{\text{окр}} = \theta$ – избыточная температура, тогда уменьшение этой температуры $(t_{T02} - \delta t) - (t_{\text{окр}}) = -d\theta$. Площадь элемента поверхности трубы можно представить как $dA = \Pi \cdot dx$, где $\Pi = \pi \cdot D$ – длина окружности трубы, x – координата в направлении оси трубы. Тогда, правая часть формулы (6) будет

$$\frac{k \cdot dA}{m_{\tau} \cdot c_p} = \left(\frac{k \cdot \Pi}{m_{\tau} \cdot c_p} \right) \cdot dx, \quad (7)$$

причем выражение в скобках будет иметь размерность м⁻¹.

Тогда уравнение (6) можно записать в виде

$$-\frac{d\theta}{\theta} = \left(\frac{k \cdot \Pi}{m_t \cdot c_p} \right) \cdot dx. \quad (8)$$

Интеграл выражения (8) будет

$$\ln(\theta) + C = -\lambda \cdot x, \quad (9)$$

где

$$\lambda = \frac{k \cdot \Pi}{m_t \cdot c_p}. \quad (10)$$

В выражении (9) постоянную интегрирования представим в виде

$$C = -\ln(\theta_0) = -\ln(t_{T02} - t_{окр}).$$

Тогда

$$\frac{\theta}{\theta_0} = \frac{t - t_{окр}}{t_{T02} - t_{окр}} = \exp(-\lambda \cdot x). \quad (11)$$

В точке $x=0$ (здесь установлена термопара T02, и, следовательно, $t = t_{T02}$) отношение $\frac{t - t_{окр}}{t_{T02} - t_{окр}} = 1$. На выходе из трубы ($x \rightarrow \infty$) $t \rightarrow t_{окр}$ и отношение $\frac{t - t_{окр}}{t_{T02} - t_{окр}} \rightarrow 0$.

Полученное уравнение (11) по своей структуре аналогично уравнению температурного поля в тонком стержне с граничными условиями 3-го рода [11].

Поскольку на протяжении этапа прогрева все значения температуры выходят на установившийся режим (см. рис. 1), температура в газоходе будет изменяться в одном направлении – в направлении оси канала (оси x) и распределение температуры будет описываться формулой

$$t = t_{окр} + (t_0 - t_{окр}) \cdot \exp(-\lambda \cdot x), \quad (12)$$

где t_0 – температура на входе в канал, применительно к рассматриваемому стенду можно принять, что $t_0 = t_{T02}$; x – координата, м, откладываемая вдоль оси канала от точки установки термопары T02; λ – параметр, m^{-1} , характеризующий интенсивность теплопередачи. Чем больше величина λ в формуле (12), тем сильнее снижается температура газа вдоль оси трубы.

С другой стороны, имея экспериментальные данные о распределении температуры, можно попытаться определить значения параметра λ , аппроксимируя с помощью метода наименьших квадратов экспериментальные точки экспоненциальной функцией вида (12).

Метод наименьших квадратов реализуем в физико-математическом пакете Mathcad явным образом, записав соответствующее выражение в расчетном блоке Given – Minerr. В качестве первого приближения используем значение λ , полученное по формуле (10). На рис. 3 показан пример расчета в пакете Mathcad.

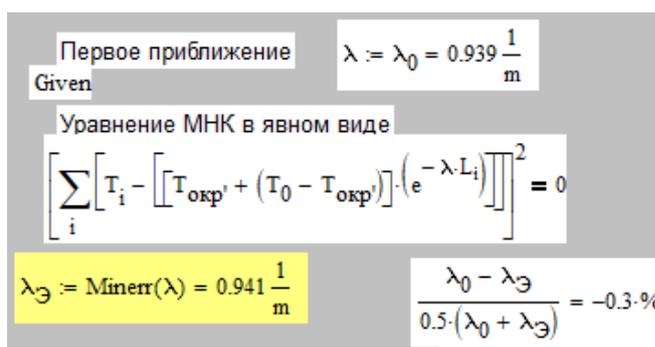


Рис. 3. Расчет параметра теплоотдачи методом наименьших квадратов в Mathcad

Сопоставление (таблица 4) значений параметра λ интенсивности распределения теплопередачи по длине газохода, полученных по формуле (10) и рассчитанных методом наименьших квадратов непосредственно по экспериментальным данным, показывает хорошее совпадение в опытах 1, 2, 4, и удовлетворительное в опыте 3. С практической точки зрения это означает, что параметр λ , определяемый через расчет теплопередачи, может быть с удовлетворительной точностью рассчитан непосредственно по измерениям температуры в ходе эксперимента.

Таблица 4

Значения параметра λ , полученные различными способами

Номер опыта	По формуле (10)	Рассчитанное МНК
1	0.939	0.941
2	0.765	0.797
3	1.020	0.959
4	0.758	0.727

А учитывая, что для всех опытов безразмерная температура в точке установки термопары T02 равна 1 (см. комментарий к формуле 11), можно результаты измерения температуры термопарами T03...T06 в опытах представить в относительных единицах, нормируя их к температуре t_{T02} . Причем значение t_{T02} для каждого опыта можно взять из плана эксперимента. Тогда результаты, например отсеивающего эксперимента могут быть представлены в виде таблицы 5.

Таблица 5

Значения безразмерной температуры в опытах на режиме прогрева стенда

Номер опыта	T02	T03	T04	T05	T06
1	0.988	0.695	0.526	0.391	0.317
2	1.007	0.825	0.596	0.427	0.373
3	1.023	0.741	0.529	0.392	0.308
4	0.999	0.827	0.616	0.460	0.399
Среднее значение	1.004	0.772	0.567	0.417	0.349

Выполнив усреднение и построив график распределения температуры газа по длине газохода, получим необходимый набор данных для построения аппроксимирующей функции вида (5), которая будет представлять собой эталон распределения температуры газа в газохода на режиме прогрева стенда.

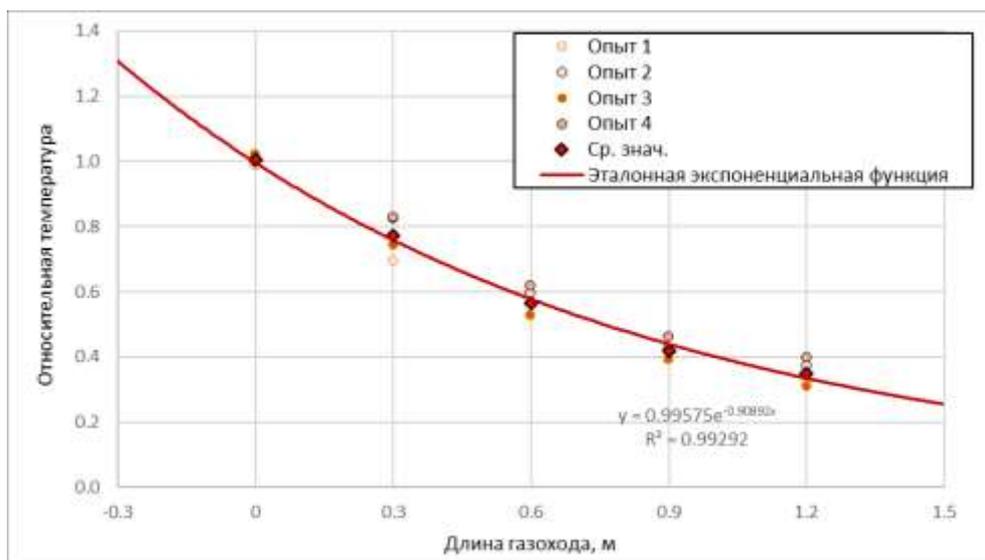


Рис. 4. Построение эталонной кривой распределения температуры газа по длине газохода на режиме прогрева экспериментального стенда

Полученное эталонное распределение температуры газа в газоходе имеет хорошие показатели сходимости с усредненными экспериментальными данными: $\frac{t_{0Э}-t_{окр}}{t_{0П}-t_{окр}} = 0.996 \rightarrow 1$ (индекс «Э» относится к действительным экспериментальным значениям, а индекс «П» к значениям согласно плану эксперимента), коэффициент детерминации $R^2 = 0.993$ и, кроме того, значение параметра $\lambda = 0.909 \cdot \text{м}^{-1}$ находится в пределах, обозначенных в таблице 4.

Обсуждение

Таким образом, на основе экспериментальных данных и положений теории теплопередачи построена математическая модель, позволяющая рассчитать одномерное температурное поле в газоходе после его прогрева до заданной температуры и до подачи в него нефтесодержащей воды. Практическая ценность такой модели состоит в том, что температурное поле, построенное по уравнениям модели, является отправной точкой для анализа процессов, происходящих в газоходе при подаче в него НСВ. Достоверность модели подтверждается хорошей сходимостью параметров, полученных как на основе расчета теплопередачи, так и определенных при помощи аппроксимации экспериментальных точек экспоненциальным уравнением.

Рассмотренный подход к обработке экспериментальных данных позволил получить график изменения температуры по длине газохода в безразмерных координатах, который может служить эталоном при обработке данных при проведении интерполяционного (экстремального) эксперимента как на режиме прогрева, так и на режиме подачи НСВ.

Выводы

1. Распределение температуры по длине газохода на этапе прогрева в лабораторном стенде зависит только от входной температуры. Далее снижение температуры может быть описано экспоненциальным законом.

Температура, определяемая термопарой T02 стенда, является нормирующей для экспоненциальной зависимости изменения температуры газа по длине газохода.

2. Параметр λ экспоненциальной зависимости может быть рассчитан через определение коэффициентов теплоотдачи от газа к стенкам трубы и от стенок к окружающей среде. С другой стороны, он может быть определен по экспериментальным значениям температуры путем их аппроксимации экспоненциальной зависимостью.

3. Отнесение температур, измеряемых с помощью термопар T03...T06, к входной температуре T02, позволило получить эталонное безразмерное распределение температуры в газоходе на этапе прогрева.

4. Эталонное распределение температуры является отправной точкой для анализа снижения температуры в процессе подачи в газоход нефтесодержащей воды при ее термическом обезвреживании. Также, рассматриваемое распределение температуры газа вкупе с распределением температуры по поверхности газохода позволит рассчитать тепловые потоки для каждого участка газохода, и в дальнейшем прийти к моделированию температурного поля в газоходе при подаче нефтесодержащей воды.

Список литературы

1. ГОСТ 31967-2012. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104634> (Дата обращения 31.03.2025)
2. Российское классификационное общество. Правила предотвращения загрязнения окружающей среды с судов. М.: 2019 (переизд. 2022). / URL: <https://rfclass.ru/assets/Uploads/PPZS.pdf?t=1718632553> (Дата обращения 31.03.2025)
3. Технический кодекс по контролю за выбросами окислов азота из судовых дизельных двигателей. URL: <https://www.iprosft.ru/docs/?nd=499050234> (Дата обращения 31.03.2025).
4. Чернов В.А., Шураев О.П., Чичурин А.Г. Стенд для исследования термического обезвреживания нефтесодержащих вод. // Научные проблемы водного транспорта, 2022, №73, с. 79-87. DOI 10.37890/jwt.vi73.314. – EDN SPAOSZ
5. Чернов В.А., Шураев О.П., Чичурин А.Г. Эксперименты по термическому обезвреживанию судовых нефтесодержащих вод // Научные проблемы водного транспорта. 2024. № 79. С. 122-130. DOI 10.37890/jwt.vi79.478. – EDN RDFHNL
6. Чернов В.А., Шураев О.П., Чичурин А.Г., Гуро-Фролова Ю.Р. Доводочные испытания стенда термического обезвреживания судовых нефтесодержащих вод. // Научные проблемы водного транспорта. 2024. № 80. С. 77-88. DOI 10.37890/jwt.vi80.513. – EDN LMDEDR.
7. Бажан П.И., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. М.: Машиностроение, 1989. 367 с.
8. Шураев О.П., Пономарев Н.А. Теплотехника: Задачи по теплопередаче. Н. Новгород: ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2009. 167 с.
9. Селиверстов В.М., Бажан П.И. Термодинамика, теплопередача и теплообменные аппараты. М.: Транспорт, 1988. 287 с
10. Баскаков А.П., Берг Б.В., Витт О.К. Теплотехника. М.: Энергоатомиздат, 1991. 224 с.
11. Теплотехника. / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер и др. М.: Высшая школа, 2000. 671 с.

References

1. GOST 31967-2012. Dvigateli vnutrennego sgoraniya porshnevyye. Vybrosy vrednykh veshchestv s otrabotavshimi gazami. Normy i metody opredeleniya URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104634> (Data obrashcheniya 31.03.2025)

2. Rossiiskoe klassifikatsionnoe obshchestvo. Pravila predotvrashcheniya zagryazneniya okruzhayushchei sredy s sudov. M.: 2019 (pereizd. 2022). / URL: <https://rfclass.ru/assets/Uploads/PPZS.pdf?t=1718632553> (Data obrashcheniya 31.03.2025)
3. Tekhnicheskii kodeks po kontrolyu za vybrosami okislov azota iz sudovykh dizel'nykh dvigatelei. URL: <https://www.iprosoft.ru/docs/?nd=499050234> (Data obrashcheniya 31.03.2025).
4. Chernov V.A., Shurayev O.P., Chichurin A.G. Stend dlya issledovaniya termicheskogo obezvrezhivaniya neftesoderzhashchikh vod. // Nauchnye problemy vodnogo transporta, 2022, №73, s. 79-87. DOI 10.37890/jwt.vi73.314. – EDN SPAOSZ
5. Chernov V.A., Shurayev O.P., Chichurin A.G. Eksperimenty po termicheskomu obezvrezhivaniyu sudovykh neftesoderzhashchikh vod // Nauchnye problemy vodnogo transporta. 2024. № 79. S. 122-130. DOI 10.37890/jwt.vi79.478. – EDN RDFHNL
6. Chernov V.A., Shurayev O.P., Chichurin A.G., Guro-Frolova Yu.R. Dovodochnye ispytaniya stenda termicheskogo obezvrezhivaniya sudovykh neftesoderzhashchikh vod. // Nauchnye problemy vodnogo transporta. 2024. № 80. S. 77-88. DOI 10.37890/jwt.vi80.513. – EDN LMDEDR.
7. Bazhan P.I., Kanevets G.E., Seliverstov V.M. Spravochnik po teploobmennym apparatam. M.: Mashinostroenie, 1989. 367 s.
8. Shurayev O.P., Ponomarev N.A. Teplotekhnika: Zadachi po teploperedache. N. Novgorod: FGOU VPO «VGAVT», 2009. 167 s.
9. Seliverstov V.M., Bazhan P.I. Termodinamika, teploperedacha i teploobmennye apparaty. M.: Transport, 1988. 287 s
10. Baskakov A.P., Berg B.V., Vitt O.K. Teplotekhnika. M.: Energoatomizdat, 1991. 224 s.
11. Teplotekhnika. / V.N. Lukanin, M.G. Shatrov, G.M. Kamfer i dr. M.: Vysshaya shkola, 2000. 671 s.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Шураев Олег Петрович, к.т.н., доцент, доцент кафедры эксплуатации судовых энергетических установок, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, ауд. 667, e-mail: solwrk@inbox.ru

Oleg P. Shurayev, Candidate of Technical Science, Associate Professor, The Department «Operation of Ship Power Plants», Volga state university of water transport, 5, Nesterova str., Nizhny Novgorod, Russia

Чернов Владимир Александрович, аспирант, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, ауд. 667, e-mail: vov7777@bk.ru

Vladimir A. Chernov, postgraduate, Volga state university of water transport, 5, Nesterova str., Nizhny Novgorod, Russia

Чичурин Александр Геннадьевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры эксплуатации судовых энергетических установок, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, ауд. 667, e-mail: alex1.chich@yandex.ru

Alexander G. Chichurin, Candidate of Technical Science, Associate Professor, The Department «Operation of Ship Power Plants», Volga state university of water transport, 5, Nesterova str., Nizhny Novgorod, Russia

Статья поступила в редакцию 07.04.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 07.04.2025; published online 20.06.2025.

ЭКОНОМИКА, ЛОГИСТИКА И МЕНЕДЖМЕНТ НА ТРАНСПОРТЕ

ECONOMICS, LOGISTICS AND TRANSPORT MANAGEMENT

УДК. 656.6

DOI: 10.37890/jwt.vi83.599

Организация завоза нефтепродуктов в пункты арктического побережья Якутии

В. М. Бунеев

ORCID: 0000-0003-0402-25

Г. Ж. Игликова

ORCID: 0009-0009-4908-81-58

*Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск,
Россия*

Аннотация. Изложены результаты исследования проблемы организации завоза грузов в пункты арктического побережья Якутии. Определены цель, задачи объект и предмет исследования. При этом применялись положения теории транспортных процессов и систем принципы транспортной логистики, методы оценки эффективности функционирования транспортных систем. Рассмотрено две основные схемы. Первая - существующая - продукция Ачинского НПЗ по железной дороге до станции Лена с перевалкой в Осетровском порту и далее речным транспортом в танкерах проекта 1754А и 1754Б. Вторая – альтернативная продукция Комсомольского НПЗ по железной дороге до станции Нижние Бестях с перевалкой на речной транспорт, танкер типа «Ленанефть». Критерий - транспортные издержки. Предпочтение отдано второму варианту.

Ключевые слова: Якутия, арктическое побережье, пункты, нефтепродукты, организация завоза.

Organizing the delivery of oil products to the points of the Yakutia arctic coast

Viktor M. Buneev

ORCID: 0000-0003-0402-25

Gulmira Z. Iglıkova

ORCID: 0009-0009-4908-81-58

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

Abstract The article presents the results of the study of the problem of organizing the delivery of goods to points on the Arctic coast of Yakutia. The goal, tasks, object and subject of the study are defined. The provisions of the theory of transport processes and systems, principles of transport logistics, and methods for assessing the efficiency of transport systems were used. Two main schemes are considered. The first - existing - products of the Achinsk Oil Refinery by rail to the Lena station with transshipment in the Osetrovsky port and then by river transport in tankers of the 1754A and 1754B projects. The second - alternative - products of the Komsomolsk Oil Refinery by rail to the Nizhniye Bestyakh station with transshipment to river transport, a tanker of the Lenaneft type.

Keywords: Yakutia, Arctic coast, points, oil products, organization of delivery.

Введение

Завоз нефтепродуктов в пункты арктических рек Республики Саха (Якутия) имеет важное значение для обеспечения региона энергоресурсами. Природа – климатические условия здесь крайне сложные, транспортная сеть развита недостаточно и не соответствует современным требованиям и перспективам развития её экономики [1]. Ограниченность сухопутных трасс компенсируется речным транспортом. Он занимает одно из ведущих положений доставки народно-хозяйственных грузов. Главным преимуществом речного транспорта перед другими является то, что в качестве путей сообщения используются реки: Лена, Алдан, Вилюй и другие. К недостаткам речного транспорта следует отнести невысокий уровень материально-технической базы. Значительное количество технических средств перевозки и перегрузки устарели физически и морально. Многие пункты отправления и особенно прибытия грузов не имеют причальных сооружений и перегрузочной техники. Сократилась протяженность водных путей, оборудованных судоходной обстановкой и с гарантированными глубинами. Особенно остро эта проблема стоит на верхней Лене. Крупный речной порт Осетрово не может быть в полной мере вовлечен в транспортный процесс завоза грузов из-за мелководья. Всё это снижает надёжность функционирования речной транспортной системы и негативно влияет на эффективность организации завоза грузов в Республику Саха (Якутия) [2].

В существующей системе организации завоза нефтепродуктов ключевую роль играет Усть-Кут, как перевалочный пункт, в который по железной дороге поступает продукция Ачинского НПЗ. Далее речным транспортом осуществляется перевязка их в пункты концентрации грузопотоков и внутрибассейнового потребления. Северный завоз осуществляется в период арктической навигации (август-сентябрь). В это время на верхней Лене наступает межень, глубины судового хода снижаются до 1,5 м. и меньше [3]. Следовательно, при северном завозе схема перевозки с перевалкой в пунктах концентрации грузопотоков: Ленск, Пеледуй, Жатай, Якутск и др. Затем, с открытием арктической навигации грузы доставляются в пункты побережья и рек Якутии. Учитывая сложность осуществления северного завоза в связи с отрицательным влиянием природно-климатических факторов не всегда удаётся выполнить плановые задания. В связи этим отмечается актуальность проблемы северного завоза в целом и в частности, совершенствование системы организации перевозок нефтеналивных грузов.

Исследованию указанных проблем и задач посвящены различные публикации. Так, в работе [2] разработаны научно – обоснованные предложения по внедрении в практику Северного завоза наиболее рациональные формы организации транспортного процесса и транспортно-логистических систем на основе взаимодействия речного и морского флота, широкого использования СМП. При этом учтено формирование опорных Арктических зон: Ямало-Ненецкая; Таймыро – Туруханская и Северо-Якутская. Схемы организации завоза грузов в пункты арктических рек Якутии с учётом природо-климатические факторы исследованы в работе [3]. Предложена схема доставки нефтепродуктов Ачинского НПЗ через Лесосибирск (железная дорога), Дудинку (речной транспорт) – СМП – бар р.Идигирка (морской транспорт) – пункты назначения (речной транспорт). Схема доставки продовольственных грузов аналогичная. Публикация [4] посвящена развитию транспортной инфраструктуры Арктической зоны РФ как единой транспортной системы на основе модернизации Северного морского пути во взаимосвязи с развитием наземной вида транспорта и авиации. Отмечена роль транспорта как фактор социально-экономического роста не только территории Арктики, но и России в целом. Комплексный анализ современного состояния транспортно-логистической системы Республики Саха (Якутия) выполнен в работе [5]. Выявлены основные проблемы функционирования водного транспорта в регионе, решение которых

видится, как повышение конкурентоспособности предприятий за счет внедрения логистического подхода в рамках предоставления услуг и управления перевозками.

Проведенный анализ публикаций оценивается неоднозначно. С одной стороны, достаточно широко исследованы общие проблемы транспортное обеспечение арктических территорий, взаимодействия речного и морского видов транспорта в системе СМП, стратегии развития внутреннего водного транспорта Республики Саха (Якутия). С другой стороны, не достаточно исследований частных, конкретных задач. В связи с этим, целью настоящей работе является совершенствование организации нефтеналивных перевозок в пункты арктического побережья Якутии за счёт оптимизации схем завоза грузов в республику.

На начальном этапе исследования проблемы определена цель - обоснование схемы организации завоза нефтепродуктов в пункты Арктического побережья Якутии. Объект исследования – транспортный процесс доставки нефтепродуктов северного завоза. Предмет исследования – методический инструментарий. обоснования схем завоза грузов водным транспортом. Сложность предмета и объекта исследования потребовала наличие необходимых методологических подходов. С одной стороны, научная гипотеза выполненного исследования базируется на общей теории рынка и её методологической концепции, в соответствии с которой спрос и предложение на рынке транспортных услуг определяет сферу деятельности различных видов транспорта, их взаимодействия и координацию. Другая особенность заключается в том, что эти предприятия влияют на эффективность функционирования отраслей хозяйственного комплекса через транспортную составляющую полных экономических издержек. В связи с этим, методология исследования базируется на принципах системного подхода, комплексности и научной обоснованности решения задач и транспортной логистики.

И так, проблема организации завоза нефтепродуктов рассматривается как комплекс задач транспортно – логистической системы (ТЛС). Основные из них: формировании грузовой базы, оптимизация маршрутов следования грузопотоков и выбор видов транспорта; обоснование схем доставки и организации взаимодействия видов транспорта. Одновременно, исследуемая проблема представляется как элемент (составляющая) системы более высокого уровня – региональной транспортной системы. Аналогичный подход к объекту и предмету исследования. Транспортный процесс –совокупность выполняемых операций, методический инструментарий – научные принципы, способы, приёмы, методы, алгоритмы методики т.д.

Материалы и методы исследования

Анализируя современное состояние экономики Республики САХА (Якутия) рынок транспортных услуг с участием всех видов транспорта сформировался и продолжает развиваться. По объему транспортной работы, выполняемой при перевозке грузов, ведущее место занимает внутренний водный транспорт (около 50 %). Далее идут железнодорожный (около 18 %) и морской (около 7 %). Ведущее положение в структуре перевозимых внутренним водным транспортом грузов занимают нефтеналивные (37,8 %) и каменный уголь (31,9 %), строительные – 10,3 %, лесные – 6,4 %, прочие – 13,6 %. Учитывая сложившееся положение, предпочтение отдано нефтеналивным перевозкам (Табл.1) В перспективе до 2035года прогнозируем их объём составит 650 тыс.т. При этом требуется распределить его между Островским портом и Якутским Транспортно-логистического узлом [6].

Таблица 1

Динамика перевозок нефтеналивных грузов в Ленском бассейне

Итого по Ленскому бассейну	2018 г	2019 г	2020 г	2021 г	2022 г
		515,10	526,88	456,06	499,96
в том числе по арктическим рекам:					
по р. Анабар	40,70	36,82	11,52	37,19	40,82
по р. Яна	34,20	40,39	40,64	37,84	44,25
по р. Индигирка	28,90	26,33	29,53	26,35	32,10
по р. Колыма	20,20	19,05	26,50	20,15	30,03

В процессе исследования применялись положения теории транспортных процессов и систем принципы транспортной логистики, методы оценки эффективности функционирования транспортных систем. Учтены научные подходы к обоснованию северного завоза, изложенные в работе [7].

Процедура разработки и принятия решения в системе исследования описана логической последовательностью решения комплекса задач в системе обоснования организации транспортного процесса и формирования мультимодального транспортно – логистического узла (рис.1) На первом этапе проводится исследование регионального рынка транспортных услуг. При этом основным критерием оценки является спрос на них, степень удовлетворения потребности в перевозке готовой продукции, полуфабрикатов, сырья, материалов и других видов грузов, а также подвижность населения. Дальнейшее развитие рынка транспортных услуг связано с приоритетами и стратегическими направлениями комплексного развития всех отраслей экономики Республики Саха (Якутия). На основе полученных результатов исследования формируется грузовая база, определяются характеристики грузовых потоков, анализируются пункты отправления и назначения, их географическое расположение. На третьем этапе производится анализ и оценка современного состояния, перспектив развития транспортно–логистической инфраструктуры региона. В её составе: подвижной состав, пути сообщения, порты, терминалы, железнодорожные станции, склады, грузораспределительные центры и другие составляющие.

Этап формирования маршрутов следования и выбора видов транспорта для освоения грузопотоков в смешанном сообщении осуществляется на основе предыдущих этапов исследования. При оптимизации маршрутов и обосновании схем доставки грузов наиболее трудоёмкая задача согласования работы видов транспорта в транспортных узлах. В качестве основных требования: минимальные экономические расходы и сроки доставки. Инструментарием согласования является единого технологического процесса (ЕТП) работы смежных видов транспорта и оптимальный режим работы перевалочного порта.

В качестве критерия оптимальности маршрута принимаются транспортные издержки на доставку одной тонны груза по каждому из возможных (альтернативных) вариантов. При этом учитываются затраты по всем составляющие транспортного процесса доставки грузов в смешанном сообщении и его участников. Единой методики таких расчётов нет из-за особенностей их калькуляции по разным видам транспорта. В связи с этим, принят уровень тарифов для оценки маршрутов следования грузопотоков и выбора оптимального варианта.



Рис. 1. Логическая последовательность решения комплекса задач в системе обоснования организации транспортного процесса доставки грузов

Для определения уровня железнодорожных и речных тарифов использованы следующие документы: Прейскурант №14-01. Тарифы на перевозки грузов и буксировку плотов речным транспортом. Госкомцен СССР, Прейскурант издат. 1989 г.; Тарифное руководство № 4-Р. Тарифные расстояния Ленского бассейна. Москва, Транспорт, 1987 г.; Прейскурант № 10-01. Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые Российскими железными дорогами. Тарифное руководство №1, часть I и II.; МПС, тарифное руководство №4, книги 1, 2, 3. Издательство «Транспорт», 1985 г. К указанным в этих документах тарифам применяются повышающие коэффициенты, согласованные перевозчиками с федеральной службой РФ по тарифам. При этом учтены рекомендации по их расчёту [8,9]

Результаты исследования

В процессе настоящего исследования рассмотрены существующая схема завоза нефтепродуктов Арчинского НПЗ через Осетрово и альтернативная - Комсомольского НПЗ, через Нижние Бестях (рис.2)



Рис. 2. Существующая и альтернативная схемы грузопотоков организации завоза нефтепродуктов в пункты Арктического побережья Якутии

Выбор рационального варианта схемы доставки нефтепродуктов осуществлён исходя из минимального значения тарифов. Установлено, что рациональным вариантом завоза нефтепродуктов в пункты северных рек является схема через Нижние Бестях. Транспортные издержки в форме тарифов здесь ниже на ~3300 руб./т по сравнению с завозом через Усть-Кут. Схема завоза нефтепродуктов в пункты реки Лена более предпочтительна с перевалкой в Усть-Куте. Так, при сравнении 2 –х вариантов завоза нефтепродуктов в пункт Хандыга на реке Алдан: 1) через Усть-Кут-75782 руб./т и 2) - через Нижние Бестях - 79757 руб./т. Разность – 3975 руб./т. подтверждает оптимальность альтернативной схемы завоза в течении арктической навигации продолжительностью 75 суток. Однако, эксплуатационный период перевалочного пункта более продолжительный и имеется возможность задействовать его в схемах на других перевозках.

Разработаны основы концепции организации завоза нефтепродуктов в пункты их распределения и потребления в регионе с учетом принятой «Стратегии развития Якутского транспортно-логистического узла Республики САХА (Якутия) до 2032 года». Предусмотрено 3 –и этапа распределения грузопотоков базового варианта прогноза в объёме 650 тыс. т нефтепродуктов. Первый – до 2025г. - из 450 тыс. т. завоза через Осетрово - на север – 52 тыс т. и 398 тыс. т., в пункты реки Лена; из 200 тыс. т. завоза через Нижние Бестях – на север -103 тыс.т. и 97 тыс.т., в пункты реки Лена. Второй - до 2030г. из 400 тыс.т. завоза через Осетрово - на север – 25 тыс.т. и 375 тыс.т., в пункты реки Лена; из 250 тыс. т. завоза через Нижние Бестях – на север - 120 тыс.т. и 130 тыс.т., в пункты реки Лена. Третий - до 2035г. из 350 тыс.т. завоза через Осетрово все, в пункты реки Лена; из 300 тыс. т. завоза через Нижние Бестях – на север -155 тыс.т. и 145 тыс.т., в пункты реки Лена. Следовательно, позиции Осетрово как, перевалочного порта нефтеналивных грузов северного завоза постепенно переходят к Нижним Бестях при условии, что поставка продукции Комсомольского НПЗ будет переориентирована на Якутию. В результате обоснования типов нефтеналивных судов для освоения прогнозируемых перевозок предпочтение отдано танкерам типа «Ленанефть» на арктическом направлении, проектам 1754А и 1754Б на внутрибассейновых направлениях.

В работе [10] отмечается наличие в парокходствах большого количества судов, смешанного река-море плавание, прежде всего, это –Обь- Иртышское и Ленское объединённое. Использование их в зоне СМП является резервом значительного увеличения грузооборота, выхода сибирских предприятий на международный рынок, укреплению полемических и экономических связей.

Выводы

В результате исследования транспортного процесса доставки нефтепродуктов в пункты арктического побережья Якутии рассмотрено две основные схемы. **Первая** - существующая - продукция Ачинского НПЗ по железной дороге до станции Лена с перевалкой в Осетровском порту и далее речным транспортом. **Вторая** – альтернативная - продукция Комсомольского НПЗ по железной дороге до станции Нижние Бестях с последующей перевалкой на речной транспорт. Эта схема рассмотрена в рамках стратегии развития Якутского транспортно-логистического узла Республики САХА (Якутия). В качестве критерия оценки и выбора оптимального варианта схемы завоза приняты железнодорожные и автомобильные тарифы, а обоснования типов нефтеналивных судов речного флота – эксплуатационные расходы по их содержанию. В результате анализа полученных данных предпочтение отдано схемам завоза нефтепродуктов через перевалочный пункт Нижний Бестях. Затраты здесь ниже на ~3300 руб./т по сравнению с завозом через Усть-Кут. При завозе нефтепродуктов в пункты Лена предпочтение отдается схеме перевалки в Усть-Куте. Так, при сравнении вариантов завоза в пункт Хандыга на реке Алдан через Усть-Кут и через Нижний Бестях, первый имеет существенное преимущество. Аналогичные результаты обоснования при завозе нефтепродуктов в пункты реки Лена и её притоков.

Реализация альтернативного варианта может быть осуществлена поэтапно в рамках Якутского транспортно-логистического узла Республики САХА (Якутия) в зависимости от пропускной способности нефтебазы. Увеличение грузооборота прогнозируется до 300 – 350 тыс.т., что позволит обеспечить нефтепродуктами потребителей в пунктах арктического побережья и рек с учётом осуществления поставок продукции Комсомольского НПЗ в Якутию. Кроме того, вызывает сомнения возможность формирования грузовой базы Якутского транспортно-логистического узла, поскольку внешний завоз восточного направления в республику составляет не более 8 %, при этом, через Осетрово поступает до 70% грузов. В связи с этим, в работе [3] предложена схема доставки нефтепродуктов Ачинского НПЗ через Лесосибирск (железная дорога), Дудинку (речной транспорт) – СМП – бар р.Идигирка (морской транспорт) – пункты назначения (речной транспорт). Возможны и другие пункты арктического побережья на реках Хатанга, Анабар. Перспективы такого решения видятся в рамках формирования и развития воднотранспортного коридора «Енисей – СМП».

Список литературы

1. Стратегия социально- экономического развития арктической зоны Республики САХА (Якутия) на период до 2035 года./Утверждена Указом Главы Республики Саха (Якутия) от 14 августа 2020 г. N 1377-131с
2. Бунеев В.М. Проблемы северного завоза в регионах Сибири и пути их решения /В.А. Бунеев, М.Г. Сеницын, М.В. Седунова // Научные проблемы водного транспорта. – 2022. – №73. – С. 88-100_ <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.316>
3. Бунеев В.А. Схемы организации завоза грузов в пункты арктических рек Якутии с учётом природно-климатических фактор/В, М, Бунеев, Н.В. Наздрачёва, М.Г Сеницын//Транспортное дело России 2023 г. №5 , стр. 173-175.
4. Филин В.Н. Транспортное обеспечение арктических территорий/В.Н.Филин // Проблемы развития территорий. 2021, Т.25. №2. С.24-43 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transportnoe-obespechenie-arkticheskikh-territoriy> (дата обращения: 03.03.2025).
5. Егорова Т.П., Делахова А.М. Стратегия пространственного развития внутреннего водного транспорта Республики Саха (Якутия) в современных условиях // Национальная безопасность / nota bene. 2021. № 6. С. 43-58. DOI: 10.7256/2454-0668.2021.6.37073 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=37073

6. Стратегия развития Якутского транспортно-логистического узла Республики Саха (Якутия) до 2032 года. / Утверждена распоряжением Правительства Республики Саха (Якутия) от 28 декабря 2020 г. N 1250-р
7. Бунеев В.М. Научные подходы к обоснованию северного завоза / В. М. Бунеев, М. В. Седунова М.В. Речной транспорт (XXI)/Международный журнал речников – М., 2016, №3, стр. 45-47
8. Тарифы на грузоперевозки по России. Деловые решения. Доставка грузов по России. URL: <https://dmord.ru/tarifyi> (дата обращения: 03.10.2023).
9. Речные перевозки грузов по России URL: <https://dmord.ru/tarify>
10. Дегтева Полина Валерьевна Исследование грузооборота речного флота на территории Северного морского пути // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2019. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-gruzooborota-rechnogo-flota-na-territorii-severnogo-morskogo-puti> (дата обращения: 07.05.2025).

References

1. Strategy for the socio-economic development of the Arctic zone of the Republic of Sakha (Yakutia) for the period until 2035./Approved by Decree of the Head of the Republic of Sakha (Yakutia) dated August 14, 2020 N 1377-131c
2. Buneev V.M. Problems of northern delivery in the regions of Siberia and ways to solve them / V.A. Buneev, M.G. Sinitsyn, M.V. Sedunova // Scientific problems of water transport. 2022. No.73. P. 88-100. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.316>
3. Buneev V.A. Schemes for organizing the delivery of goods to points on the Arctic rivers of Yakutia, taking into account natural and climatic factors / V.M. Buneev, N.V. Nazdracheva, M.G. Sinitsyn // Transport business of Russia 2023, No. 5, pp. 173-175.
4. Filin V.N. Transport support of the Arctic territories / V.N. Filin // Problems of development of territories. 2021, Vol. 25. No. 2. Pp. 24-43 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transportnoe-obespechenie-arkticheskikh-territoriy> (date of access: 03.03.2025).
5. Egorova T.P., Delakhova A.M. Strategy for the spatial development of inland waterway transport of the Republic of Sakha (Yakutia) in modern conditions // National security / nota bene. 2021. No. 6. Pp. 43-58. DOI: 10.7256/2454-0668.2021.6.37073 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=37073
6. Development strategy of the Yakut transport and logistics hub of the Republic of SAKH (Yakutia) until 2032. / Approved by order of the Government of the Republic of Sakha (Yakutia) dated December 28, 2020 N 1250-r
7. Buneev V.M. Scientific approaches to the justification of northern delivery / V. M. Buneev, M. V. Sedunova M. V. River transport (XXI) / International Journal of Rivermen - M., 2016, No. 3, pp. 45-47
8. Freight transportation rates in Russia. Business solutions. Cargo delivery in Russia. URL: <https://dmord.ru/tarifyi> (date of access: 03.10.2023).
9. River freight transportation in Russia URL: <https://dmord.ru/tarify>
10. Degtyareva Polina Valerievna Study of river fleet cargo turnover on the territory of the Northern Sea Route // Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of Maritime and River Fleet. 2019. No. 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-gruzooborota-rechnogo-flota-na-territorii-severnogo-morskogo-puti> (date of access: 07.05.2025).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Бунеев Виктор Михайлович, д.э.н., профессор кафедры Управление транспортным процессом, Сибирский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: buneev_vm@mail.ru

Viktor M. Buneev, Doctor of Economics, Professor Fleet Management, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: buneev_vm@mail.ru

Игликова Гульмира Жаслановна, выпускник
Аспирантуры при кафедре Управление
транспортным процессом, Сибирский
государственный университет водного
транспорта» (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г.
Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail:
g.z.iglikova@nsawt.ru

Gulmira Z. Iglikova, graduate of the Postgr
aduate School at the Department of Transport
Process Management, Siberian State University
of Water Transport, 630099, Novosibirsk,
Schetinkina St., 33, e-mail:
g.z.iglikova@nsawt.ru

Статья поступила в редакцию 20.03.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 20.03.2025; published online 20.06.2025.

УДК 656.624.3

DOI:10.37890/jwt.vi83.606

Обоснование оптимального варианта инфраструктурного обеспечения воднотранспортного терминала

О.И. Карташова¹

А.О. Ничипорук²

ORCID: 0000-0002-7763-2829

¹*Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Ф.М. Апраксина – филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ», г. Астрахань, Россия*

²*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. В статье представлены результаты апробации экономико-математической модели определения оптимального состава инфраструктуры речного портового терминала. Сформулированы основные условия и требования к экономико-математической модели, рассмотрены различные методические подходы к решению поставленной задачи. На основе авторской модели выполнены расчеты и представлены результаты по ряду возможных вариантов технического оснащения и технологии перегрузочных работ в речных портах. Показаны зависимости различных показателей (капитальные вложения, эксплуатационные затраты, себестоимость перегрузочных работ) от используемого варианта технологии и техники, а также осваиваемого на терминале грузооборота. Сделаны выводы о наиболее предпочтительных вариантах организации работы портовых терминалов в зависимости от различных существующих и перспективных объемов грузопереработки.

Ключевые слова: водный транспорт, портовая инфраструктура, погрузочно-разгрузочные работы.

Justification of the best option for infrastructure support of the water transport terminal

Olga I. Kartashova¹

Andrey O. Nichiporuk²

ORCID: 0000-0002-7763-2829

¹*Caspian Institute of Sea and River Transport named after Gen.-Adm. F. M. Apraksin is a branch of the Volga State University of Water Transport, Astrakhan, Russia*

²*Volga State University of Water Transport, Russia*

Abstract. The article presents the results of testing the economic and mathematical model for determining the optimal composition of the infrastructure of the river port terminal. The basic conditions and requirements for the economic and mathematical model are formulated, various methodological approaches to solving the problem are considered. On the basis of the author's model, calculations were made and the results were presented for a number of possible options for technical equipment and technology for transshipment work in river ports. The dependence of various indicators (capital investments, operating costs, cost of transshipment work) on the used version of technology and equipment, as well as the cargo turnover mastered at the terminal, is shown. Conclusions were drawn on the most preferable options for organizing the operation of port terminals depending on the various existing and promising volumes of cargo processing.

Keywords: water transport, port infrastructure, handling.

Введение

Выбор технологии, механизации и организации перегрузочных работ, соответствующего оборудования и перегрузочной техники, оснащения, решение вопросов о строительстве тех или иных инфраструктурных объектов – важные вопросы при проектировании или модернизации терминального комплекса, особенно такого крупного, как воднотранспортный узел или порт. От правильности и обоснованности принятого решения, а также адекватности сделанного выбора будут зависеть производительность комплекса, качество перегрузочных работ, эффективность работы порта.

Учитывая большое многообразие инфраструктурных объектов портового перегрузочного комплекса, решение указанной задачи ручным способом или перебором вариантов представляется весьма сложным, а также не способным дать в итоге оптимальный (наиболее эффективный) результат.

Следует отметить, что для ускорения и упрощения поиска решения подобной задачи может ставиться задача поиска субоптимального (близкого к оптимальному) решения. Если позволяют технические средства и наличие соответствующего программного обеспечения, возможно осуществление полного перебора и оценки всех вариантов. Однако, как показывает практика, последний подход в реальных условиях мало применим из-за слишком значительного многообразия инфраструктурных объектов и их сочетаний, так как число рассматриваемых вариантов, а с ними и трудоемкость решения, весьма велики.

Субоптимальные методы являются менее трудоемкими и более эффективными при решении больших практических задач. Они не обеспечивают нахождения идеального решения, однако дают хорошие, близкие к оптимальным результаты при невысокой сложности вычислений.

Тем не менее, даже субоптимальные методы, отличаясь большей простотой и эффективностью, по мере увеличения варьируемых элементов и параметров терминалов и транспортно-логистических систем становятся весьма сложны в реализации без дополнительных средств, в качестве которых могут выступать стандартные и специальные информационные технологии.

В связи с этим поиск оптимальных вариантов решения указанной задачи, по мнению авторов, требует создания соответствующего методического аппарата, например, в области инфраструктурного состава грузовых терминальных комплексов.

Методы и материалы

В учебной и методической литературе, как правило, вопросы оптимизации инфраструктуры терминалов или транспортно-логистических систем затрагиваются весьма поверхностно. Особое внимание уделяется описанию и характеристике их элементов, их взаимодействию между собой, а также с внешней средой (грузоотправителями, грузополучателями и др.). Оптимизационные задачи решаются в рамках соответствующих дисциплин, при этом носят узкопрофильный и ограниченный характер.

В научной литературе и периодических публикациях рассматриваемые вопросы представляют больший интерес для исследователей и встречаются чаще. Во многих статьях, помимо обозначения важности и раскрытия значения проблемы поиска оптимального варианты и повышения эффективности терминальной инфраструктуры, авторы пытаются развить или предложить новые соответствующие методические подходы.

Авторы статьи [1] обращают внимание, что производительность складских перегрузочных машин на контейнерном терминале может зависеть от вместимости склада, параметров штабеля (высоты, числа ярусов), доступности грузовых единиц (мест и глубины размещения контейнеров). С учетом этого производительность

перегрузочного оборудования может корректироваться и уточняться потребное на складе количество техники.

Другие структурные элементы терминального комплекса авторами не рассматриваются, как и технико-экономическое обоснование эффективности их использования.

В работе [2] сделан акцент на совершенствовании методических подходов к определению пропускной способности порта и оценке качества обслуживания судов. Обращается внимание на ряд операций, оказывающих влияние на продолжительность грузовой обработки, при этом непосредственно с ней не связанные и невозможные к совмещению. С учетом этого для оценки действительных возможностей терминала по обслуживанию транспортных средств предлагается новый показатель производственной мощности порта – пропускная способность обслуживания.

Кроме пропускной способности и непосредственно обслуживания (обработки) судна другие элементы порта и их характеристики не рассматриваются.

Автор [3] обращает внимание, что в зарубежной практике при технико-экономической оценке проектов морских портов учитываются капитальные вложения и эксплуатационные затраты за весь жизненный цикл проекта. Следует согласиться с данным подходом, так как известно, что при определенных технологических схемах и используемом оборудовании суммарные эксплуатационные расходы (за период эксплуатации портового перегрузочного комплекса) могут значительно превышать капитальные вложения. Может быть и обратная ситуация. В связи с этим традиционный подход, при котором основным экономическим показателем для оценки проекта были капитальные вложения, в настоящее время требует своего уточнения.

При этом, однако, сами авторы в качестве ключевых показателей для технологического проектирования порта (на примере навалочного груза – угля) используют количество причалов и судопогрузочных машин, а выбор оптимального варианта осуществляют на основании производительности перегрузочной техники (основной перегрузочной машины) и коэффициента запаса производительности судопогрузочных операций, что, на наш взгляд, является серьезным упущением и игнорированием результатов зарубежного опыта и собственного анализа.

В [4] предлагается подход к повышению пропускной способности (производительности) портов за счет совершенствования управления и эксплуатации портового хозяйства, планирования работы грузового терминала и смежных видов транспорта. Этот путь, по мнению автора, является более предпочтительным, так как отличается относительно невысокими затратами и не требует длительного времени реализации (в связи с тем, что происходит оптимизация работы существующих инфраструктурных объектов и оборудования вместо их модернизации и приобретения).

Автором разработана методика определения рейтинговой оценки логистических внутрипортовых цепей по совокупности временного фактора и фактора надежности. Ориентация на существующие технологические схемы грузопереработки и имеющееся в распоряжении портовое оборудование подтверждается использованием для экономической оценки только таких показателей, как затраты на исполнителей перегрузочной операции, себестоимость использования вспомогательной техники, себестоимость использования крана. Таким образом, предлагаемый подход может быть использован для совершенствования деятельности терминала на основе оптимизации эксплуатации погрузочно-разгрузочного оборудования. Однако для случая модернизации или приобретения дополнительной перегрузочной техники, а также других ресурсов и инфраструктурных объектов, он не подходит или требует своей значительной переработки.

Наиболее близок к решению сформулированной нами задачи методический подход в статье [5], предлагающей модель выбора портового перегрузочного оборудования на основе моделирования технологической линии порта.

Рассматривается проблема повышения скорости обслуживания транспортных средств в порту. Следует согласиться с авторами, что данное повышение (по сути, увеличение производительности) может быть достигнуто изменением количества портового перегрузочного оборудования, технологии перегрузочных работ или техническим перевооружением.

Авторы сосредотачивают внимание на выборе портового перегрузочного оборудования (среди различных моделируемых вариантов его использования в рамках альтернативных технологических решений). При этом предлагается использовать такие критерии, как пропускная способность, соответствие технических параметров оборудования грузу и технологии перегрузочных работ. Важным аспектом является выбор между инсорсингом и аутсорсингом перегрузочной техники, а также механизмах их финансового обеспечения (собственные средства, лизинг, кредитование).

Данный подход представляет интерес, однако, по нашему мнению, требует своего расширения на другие элементы перегрузочного комплекса для полноценного обоснования экономически, технически и технологически эффективного варианта инфраструктуры портового терминала.

По нашему мнению, методика обоснования оптимального состава инфраструктурных объектов воднотранспортного терминала должна отвечать следующим основным требованиям [6]:

1. Являться унифицированной, т.е. подходить для использования применительно к любому грузопотоку и соответствующей технологии перегрузочных работ. Более того, должна обеспечиваться возможность сравнения между собой принципиально разных альтернативных технологических решений и инфраструктурного наполнения терминала, если один и тот же грузопоток может быть освоен с их использованием.

2. Позволять производить обоснование оптимального варианта с учетом экономической эффективности работы терминала, как в текущем периоде, так и за прогнозный период его жизненного цикла.

3. Учитывать дополнительные ограничения, например, по наличию инфраструктурных объектов (перегрузочной техники, подъездных путей, складов и т.п.) и их перегрузочным мощностям, возможности потенциальных инвесторов.

4. Отражать особенности строительства и эксплуатации воднотранспортных терминалов, а также специфику структуры и состава портовой и обеспечивающей инфраструктуры.

В [6] нами сформулирована соответствующая экономико-математическая модель, учитывающая разнообразие возможных вариантов организации перегрузочных работ, а также существенный перечень объектов, отличающихся друг от друга по стоимости приобретения и эксплуатации, техническим характеристикам, для поиска оптимального решения по инфраструктурному обеспечению терминала исходя из предполагаемого размера грузопотока и имеющихся в распоряжении ресурсов.

В качестве первичного критерия, используемого в большинстве обоснований строительства (модернизации) терминальных комплексов, а также иных объектов, как правило, используется размер потребных капитальных вложений (инвестиций) с последующей оценкой их ожидаемой эффективности.

Следует отметить, что при определении стоимости капитальных вложений и пропускной способности по различным элементам терминала необходимо также учитывать возможное наличие существующего оборудования, техники и инфраструктурных объектов (если речь идет о модернизации существующего

портового комплекса), которые могут использоваться в рамках j -ой схемы механизации перегрузки i -го груза.

Вторым возможным основным критерием оценки терминалов, в особенности, уже существующих, могут быть эксплуатационные затраты, связанные с использованием существующей инфраструктуры, а также привлечение дополнительной перегрузочной техники и оборудования, в том числе на основе аренды.

Результаты

В рамках апробации разработанной экономико-математической модели было произведено сравнение нескольких основных вариантов организации воднотранспортного терминала (речного порта) для перегрузки перспективных грузопотоков (от 500 тыс. т до 5 млн. т) и родов грузов (тарно-штучные грузы в контейнерах и транспортных пакетах). В качестве сравниваемых вариантов схем механизации и используемых технологий перегрузочных работы были приняты следующие: перегрузка контейнеров специализированными высокопроизводительными перегружателями или крупнотоннажными порталными кранами (грузоподъемностью до 45 т) с различным сочетанием вспомогательных машин: козловые краны, рич-стакеры, автопогрузчики; перегрузка транспортных пакетов порталными кранами (грузоподъемностью 10-15 т) с использованием на терминале авто- и электропогрузчиков; оборудование ро-ро терминала с перегрузочной эстакадой и парком тягачей и ролл-трейлеров.

Результаты моделирования по различным вариантам и условиям организации терминала представлены на рисунках 1-4.

Обсуждение

Представленные результаты показывают, что для грузооборота организуемого воднотранспортного терминала (речного порта) до 500 тыс. т наиболее оптимальным вариантом технологии перегрузочных работ и связанной с ним портовой инфраструктуры будет перегрузка контейнеров с использованием крупнотоннажного порталного и козлового крана. При ограничениях инвестиционного характера может быть использована ро-ро технология, а также перегрузка транспортных пакетов с заменой крупнотоннажных порталных кранов на краны меньшей грузоподъемности (10-15 т).

Для организации терминала с грузооборотом до 1 млн. т предпочтительным по всем параметрам становится вариант с применением ро-ро технологии, который обеспечивает меньшие затраты как текущие, так и за весь период эксплуатации терминала, наименьшую себестоимость перегрузочных работ. Более затратными, однако сопоставимыми по ряду критериев, становятся варианты с использованием крупнотоннажных порталных кранов.

С увеличением грузооборота порта и постепенным его наращиванием в интервале 1,5-5 млн. т наиболее оптимальным вариантом становится организация перегрузки контейнерных грузов с использованием крупнотоннажных порталных и козловых кранов. Их применение обеспечивает наименьшие капитальные и эксплуатационные затраты по сравнению с другими вариантами, а также наименьшую себестоимость перегрузочных работ.

Особо следует отметить, что в число близких к оптимальным значениям ни в одной из рассматриваемых ситуаций не попали технологические решения, связанные с использованием высокопроизводительных контейнерных перегружателей. Связано это с их высокой стоимостью (по сравнению с другими типами перегрузочных машин), а также нерациональностью их применения на обусловленных объемах грузопотоков.

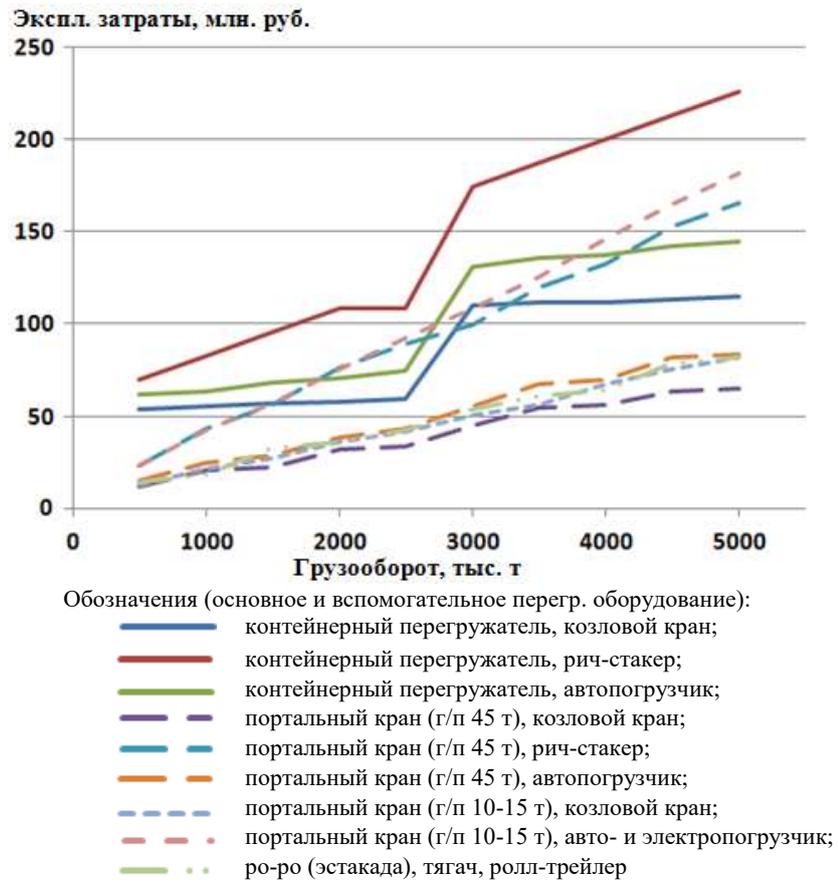


Рис. 1. Соотношение эксплуатационных затрат по воднотранспортному терминалу и его планируемого грузооборота

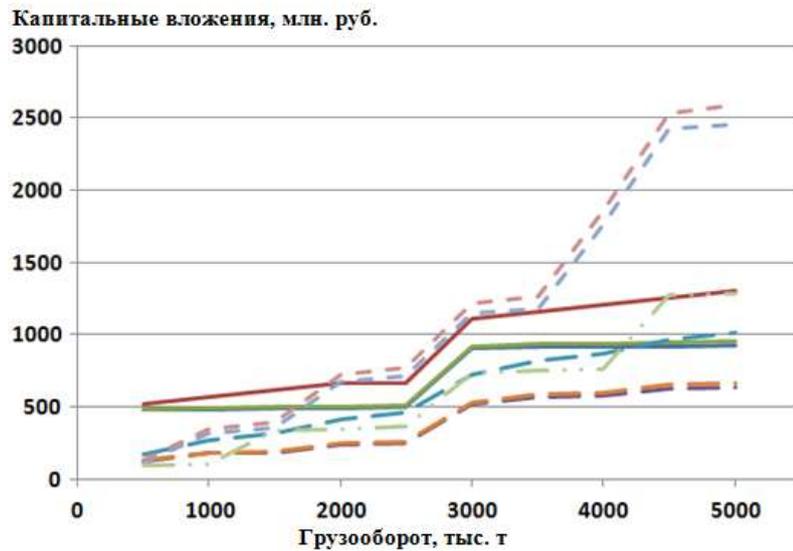


Рис. 2. Соотношение капитальных вложений (инвестиций) по воднотранспортному терминалу и его планируемого грузооборота

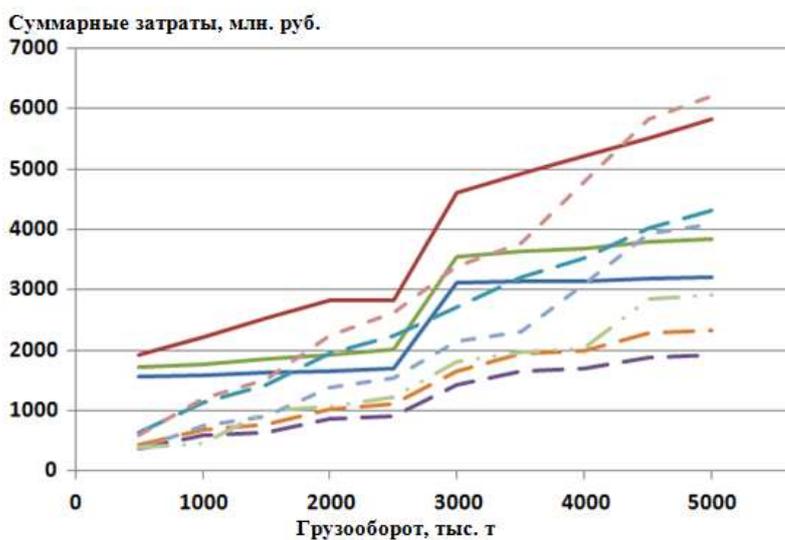


Рис. 3. Соотношение суммарных затрат за планируемый период работы воднотранспортного терминала и его грузооборота
Примечание: обозначения на рис. 2-3 те же, что на рис. 1.

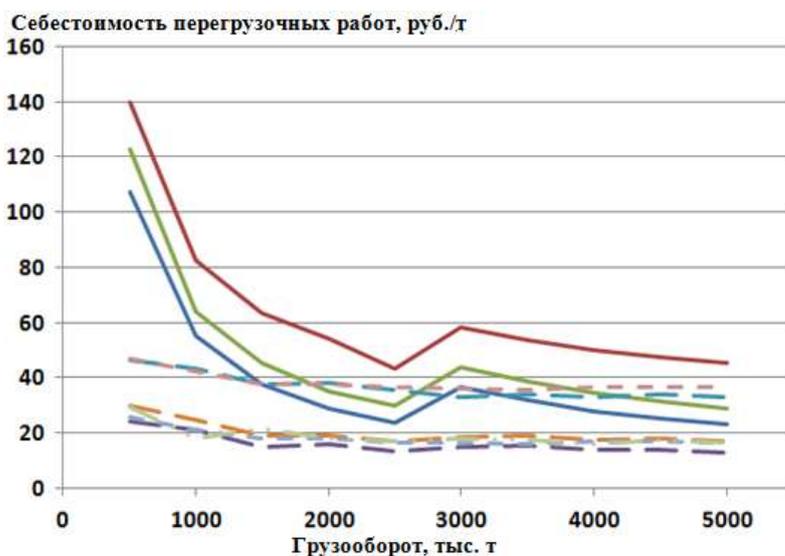


Рис. 4. Соотношение себестоимости перегрузочных работ по воднотранспортному терминалу и его планируемого грузооборота
Примечание: обозначения на рис. 4 те же, что на рис. 1.

Также необходимо принимать во внимание, что при апробации модели не учитывались ограничения по имеющимся инфраструктурным объектам и перегрузочной технике (как в собственности, так и на правах аренды), т.к. принималось, что мы организуем новый терминал. Еще одним важным моментом могут быть ограничения пространственного характера при размещении терминала (выделенная под строительство конкретная площадь, без возможности её увеличения). В таких условиях оптимальными могут оказаться более затратные, но зато компактные решения.

Заключение

Представленные результаты показывают, что разработанная авторами модель применима для определения не только оптимального варианта инфраструктурного обеспечения портового терминала, но и сфер возможного использования различных технико-технологических вариантов организации погрузочно-разгрузочных работ. Это особенно важно при необходимости оценки существующей портовой инфраструктуры, перспектив и возможностей её развития и модернизации в современных условиях изменяющихся транспортно-логистических связей и цепей поставок, геополитических условий, трансформации транзитной, внутрирегиональной, межрегиональной и международной транспортной инфраструктуры и узлов [7-10].

Список литературы

1. Кузнецов А.Л., Кириченко А.В., Давыденко А.А. Классификация и функциональное моделирование эшелонированных контейнерных терминалов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. №6(34).2015. С. 7–16.
2. Минеев С.К. Влияние организации обслуживания судов на пропускную способность портов // Журнал университета водных коммуникаций. №3. 2013. С. 147–152.
3. Купцов Н.В. Разработка методики расчета оптимальной производительности морского грузового фронта для терминалов по экспортной перевалке угля на ранних стадиях проектирования // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. Т. 9. № 5. 2017. С. 925–940. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-925-940.
4. Стрельников Д.Д. Рейтинговая оценка терминальных логистических цепей // Вестник ВГАВТ. №52. 2017. С. 15–20.
5. Зуб И.В., Ежов Ю.Е., Стенин Н.Н. Модель выбора портового перегрузочного оборудования на основе моделирования технологической линии порта // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. Т. 12. № 6. 2020. С. 1016–1028. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1016-1028.
6. Карташова О.И., Ничипорук А.О., Отделкин Н.С., Федосенко Ю.С. Унифицированная экономико-математическая модель обоснования оптимального количества инфраструктурных объектов воднотранспортного терминала // Морские интеллектуальные технологии. №4. Часть 2. 2024. С. 159–167. DOI: 10.37220/МИТ.2024.66.4.072.
7. Минеев В.И., Иванов В.М., Карташов М.В. Перспективы развития транспорта Каспийского региона в эпоху перемен // Научные проблемы водного транспорта. №72. 2022. С. 121-133. URL: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.290>
8. Никулина М.В., Подобед В.А. Особенности обоснования эффективности строительства речных причалов предприятий // Научные проблемы водного транспорта. №64. 2020. С. 164–170. doi:10.37890/jwt.vi64.107
9. Нюркин С.И., Нюркина Э.Е. Поиск путей совершенствования работы судоходных предприятий в регионах с развитой транспортной инфраструктурой // Научные проблемы водного транспорта. №79. 2024. С. 157–163. DOI: 10.37890/jwt.v79.480.
10. Троилина А.В. Тенденции, факторы и индикаторы развития транзитной транспортной инфраструктуры Российской Федерации // Научные проблемы водного транспорта. №66. 2021. С. 123–137. doi:10.37890/jwt.vi66.152

References

1. Kuznetsov A.L., Kirichenko A.V., Davydenko A.A. Klassifikatsiya i funktsional'noe modelirovanie ehshelonirovannykh konteynernykh terminalov [Classification and functional modeling of layered container terminals], Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova [Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov], No.6(34), 2015, pp. 7–16.
2. Mineev S.K. Vliyanie organizatsii obsluzhivaniya sudov na propusknyuyu sposobnost portov [Impact of ship service organization on port capacity], Zhurnal universiteta vodnykh kommunikatsii [Journal of the University of Water Communications], No.3, 2013, pp. 147–152.

3. Kuptsov N.V. Razrabotka metodiki rascheta optimalnoi proizvoditelnosti morskogo gruzovogo fronta dlya terminalov po ehksportnoi perevalke uglja na rannikh stadiyakh proektirovaniya [Development of a methodology for calculating the optimal productivity of the sea cargo front for coal export transshipment terminals at the early stages of design], Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova [Bulletin of the State University of Marine and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov], Vol. 9, No. 5, 2017, pp. 925–940. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-925-940.
4. Strelnikov D.D. Reitingovaya otsenka terminalnykh logisticheskikh tsepei [Rating assessment of terminal logistics chains], Vestnik VGAVT [VGAVT Bulletin], No52, 2017, pp. 15–20.
5. Zub I.V., Ezhov YU.E., Stenin N.N. Model vybora portovogo peregruzochnogo oborudovaniya na osnove modelirovaniya tekhnologicheskoi linii porta [Model for the selection of port transshipment equipment based on modeling of the port technological line], Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova [Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov], Vol. 12, No.6, 2020, pp. 1016–1028. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1016-1028.
6. Kartashova O.I., Nichiporuk A.O., Otdelkin N.S., Fedosenko YU.S. Unifitsirovannaya ehkonomiko-matematicheskaya model obosnovaniya optimalnogo kolichestva infrastrukturykh obektov vodnotransportnogo terminala [Unified economic and mathematical model for justifying the optimal number of infrastructure facilities of a water transport terminal], Morskie intellektualnye tekhnologii [Marine Intelligent Technologies], No4, Vol. 2, 2024, pp. 159–167. DOI: 10.37220/MIT.2024.66.4.072.
7. Mineev V.I., Ivanov V.M., Kartashov M.V. Perspektivy razvitiya transporta Kaspiiskogo regiona v ehpkhu peremen [Prospects for the development of transport in the Caspian region in an era of change], Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport], No.72, 2022, pp. 121–133. URL: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.290>
8. Nikulina M.V., Podobed V.A. Osobennosti obosnovaniya ehffektivnosti stroitel'stva rechnykh prichalov predpriyatii [Features of justification of the efficiency of construction of river berths of enterprises], Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport], No.64, 2020, pp. 164–170. doi:10.37890/jwt.vi64.107
9. Nyurkin S.I., Nyurkina E.H.E. Poisk putei sovershenstvovaniya raboty sudokhodnykh predpriyatii v regionakh s razvitoi transportnoi infrastrukturou [Search for ways to improve the work of shipping enterprises in regions with a developed transport infrastructure], Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport], No.79, 2024, pp. 157–163. DOI: 10.37890/jwt.v79.480.
10. Troilina A.V. Tendentsii, faktory i indikatory razvitiya tranzitnoi transportnoi infrastruktury Rossiiskoi Federatsii [Trends, factors and indicators of the development of transit transport infrastructure of the Russian Federation], Nauchnye problemy vodnogo transporta [Russian Journal of Water Transport], No.66, 2021, pp. 123–137. doi:10.37890/jwt.vi66.152

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Карташова Ольга Ивановна, доктор экономических наук, доцент, директор, Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген.-адм. Ф.М.Апраксина – филиал Волжского государственного университета водного транспорта, 414000, г. Астрахань, ул. Никольская, 6, e-mail: lesy_g@mail.ru

Ничипорук Андрей Олегович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: nichiporuk@rambler.ru

Olga I. Kartashova, Dr. Sci. (Econ), assistant professor, director, The Caspian Institute of Sea and River Transport named after Gen.-Adm. F. M. Apraksin is a branch of the Volga State University of Water Transport, Nikolskaya st., 6, Astrakhan city, 414000, Russian Federation

Andrey O. Nichiporuk, Dr. Sci. (Eng), Assistant Professor, Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, Nesterova, 5, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation

Статья поступила в редакцию 23.03.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 23.03.2025; published online 20.06.2025.

УДК 378.1

DOI:10.37890/jwt.vi83.604

Обеспечение качества транспортного образования: современные вызовы и перспективы

И.К. Кузьмичев

ORCID: 0000-0002-9147-4564

В.В. Крайнова

ORCID: 0000-0001-7960-3661

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

Аннотация. В данной статье рассматривается многогранная задача обеспечения качества транспортного образования. С позиции системного методологического подхода обоснован авторский взгляд на обеспечение качества образования в транспортном университете. Основными условиями обеспечения качества образования, по мнению авторов, являются: во-первых, качество проектирования образовательной программы и, во-вторых, качество самого образовательного процесса. Составляющие, обеспечивающие качество образования, рассмотрены с учетом отраслевой направленности подготовки кадров в Волжском государственном университете водного транспорта.

Ключевые слова: качество образования, транспортное образование, федеральные государственные образовательные стандарты, образовательные программы, оценка качества, обеспечение качества, повышение качества образования.

Ensuring the quality of transport education: modern challenges and prospects

Igor K. Kuzmichev

ORCID: 0000-0002-9147-4564

Vera V. Krainova

ORCID: 0000-0001-7960-3661

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. This article examines the multifaceted task of ensuring the quality of transport education. From the standpoint of a systematic methodological approach, the author's view on ensuring the quality of education at the transport university is justified. The main conditions for ensuring the quality of education, according to the authors, are: firstly, the quality of the design of the educational program and, secondly, the quality of the educational process itself. The components that ensure the quality of education are considered considering the sectoral orientation of personnel training at the Volga State University of Water Transport.

Keywords: quality of education, transport education, federal state educational standards, educational programs, quality assessment, quality assurance, improving the quality of education.

Введение

Подготовка кадров для транспортной отрасли является основой кадрового и инновационного развития транспортной системы Российской Федерации - одной из базовых отраслей экономики государства, формирующей более 6 % национального внутреннего валового продукта. В 2024 году системе транспортного образования

России исполнилось 215 лет. На сегодняшний день транспортное образование реализуется в 26 вузах, 19 из них подведомственны Министерству транспорта РФ и отраслевым Федеральным агентствам.

Образование в области морского и речного транспорта сегодня осуществляется в шести вузах Росморречфлота, семи морских вузах, подведомственных Минобрнауки России и Минсельхозу России. В морских и речных вузах сегодня обучается около 42,6 тысяч студентов и курсантов. Образовательный процесс осуществляют более 1000 кандидатов наук и 224 доктора наук.

Необходимо отметить, что обеспечение и повышение качества образовательного процесса является важнейшей задачей транспортных университетов страны.

Кадровое обеспечение реализации Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года и развитие транспортного образования осуществляется в соответствии с Концепцией подготовки кадров для транспортного комплекса до 2035 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 6 февраля 2021 г. N 255-р, где так же сформулированы основные направления развития и задачи в части обеспечения качества транспортного образования [1,2].

С 01.01.2025 стартовал новый национальный проект «Эффективная транспортная система», рассчитанный до 2030 года, который стал «бесшовным» продолжением завершившегося в 2024 году нацпроекта «Модернизация транспортной инфраструктуры». В рамках этого проекта реализуется Федеральный проект «Развитие кадрового потенциала транспортной отрасли», в котором одной из важнейших задач определено повышение качества транспортного образования и подготовки выпускников транспортных учебных заведений.

Понятие «качество образования» многогранно и традиционно вызывает споры в академическом сообществе [3-6]. В научных работах представителей академического сообщества присутствует в большей степени анализ оценки качества образования: «общее число публикаций по проблемам оценки качества образования, помещённых в системе российского индекса научного цитирования, исчисляется десятками тысяч» [3]. В меньшей степени исследуются вопросы обеспечения качества образования, а подобные исследования в области транспортного образования носят единичный характер [7-11].

Методы

Методами исследования являлись: анализ российских научных публикаций, а также научно-методической литературы по выбранной тематике; системный подход; логико-структурный подход, наблюдение, сравнение, обобщение.

В качестве информационной базы исследования использовались справочно-аналитические материалы, характеризующие образовательную деятельность Волжского государственного университета водного транспорта.

Результаты, обсуждения

Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ "Об образовании в Российской Федерации" содержит следующее определение: «качество образования - комплексная характеристика образовательной деятельности и подготовки обучающегося, выражающая степень их соответствия федеральным государственным образовательным стандартам, образовательным стандартам, федеральным государственным требованиям и (или) потребностям физического или юридического лица, в интересах которого осуществляется образовательная деятельность, в том числе степень достижения планируемых результатов образовательной программы» [12].

Отталкиваясь от данного определения, неоспоримым видится наличие определенных стандартов и сравнения с ними имеющейся картины образования.

Исследуя вопросы качества, необходимо учитывать специфику транспортного образования, обусловленную отраслевыми особенностями, которые наиболее ярко проявляются при подготовке кадров плавсостава: экстерриториальность подготовки кадров, неразрывная связь качества подготовки специалистов для морского транспорта с соблюдением международных стандартов и требований международных организаций, (Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года с поправками), постоянное и тесное взаимодействие с работодателями, большой объём практической подготовки, особые требования к материально-технической базе учебных заведений и др. [2].

При создании системы обеспечения качества образования в транспортном университете необходимо учитывать ключевые тренды, определяющие развитие транспортного образования в мире: внедрение гибких образовательных программ по заказам отраслевых бизнес-партнеров; развитие индивидуальных образовательных траекторий; расширяющееся использование виртуальных тренажеров, инструментов виртуальной и дополненной реальности; использование интерактивных методов обучения; активное формирование универсальных компетенций (системное мышление, коммуникации, принятие решений, командная работа, навыки самообучения, компетенции цифровой экономики); развитие сетевых форматов обучения с использованием потенциала нескольких образовательных организаций внедрение модели "цифрового университета и др. [2].

Образовательные программы (далее -ОП) Волжского университета охватывают всю линейку непрерывного профессионального образования, включая профессиональное обучение, среднее профессиональное образование, высшее образование всех уровней (бакалавриат, специалитет, магистратура, подготовка научных кадров высшей квалификации) и форм (очное, заочное, очно-заочное), дополнительное профессиональное образование (рис.1).



Рис. 1. Линейка непрерывного профессионального образования в ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

В ФГБОУ ВО «ВГУВТ» реализуется 44 ОП высшего образования (далее-ВО), из них 16 - программы бакалавриата, 14 -специалитета, 14 магистратуры; по уровню среднего профессионального образования (далее-СПО) – 10 ОП. Подготовка научно-педагогических кадров ведется по 29 программ аспирантуры. Реализуется 133 программы дополнительного профессионального образования (далее-ДПО).

За последние 5 лет университетом проведена значительная работа по расширению направлений подготовки/ специальностей по программам ВО и СПО отраслевой направленности. Получены лицензии по отраслевым специальностям/направлениям подготовки: 26.02.02 Судостроение, 26.03.03 Водные пути, порты и гидротехнические сооружения, 26.03.04 Инженерно-экономическое обеспечение технологий и бизнес-процессов водного транспорта, 26.05.01 Проектирование и постройка кораблей, судов и объектов океанотехники.

Диверсификация образовательного портфеля была направлена на приоритетное развитие новых программ в области IT-технологий, информационной безопасности: 09.02.07 Информационные системы и программирование, 10.02.05 Обеспечение информационной безопасности автоматизированных систем, 10.05.03 Информационная безопасность автоматизированных систем, 09.03.02 Информационные системы и технологии.

Всего за период 2019-2024 гг. ФГБОУ ВО «ВГУВТ» получены лицензии по 17-ти новым образовательным программам в головном вузе и 16-ти новым ОП в филиалах университета.

Образовательный портфель университета формируют программы, ориентированные на динамично меняющиеся запросы отрасли [13]: при этом ФГБОУ ВО «ВГУВТ» готовит кадры не только основных системообразующих функциональных подразделений транспортных компаний (кадры плавсостава), подготовка специалистов осуществляется и для других направлений профессиональной транспортной деятельности: для сферы транспортной логистики, судостроения, экономики, управления, права, экономической, экологической безопасности и др.

В системе СПО (рис.2) подготовка ведется по пяти укрупненным группам специальностей/направлений подготовки (далее -УГСН)



- 26.00.00 Техника и технология кораблестроения и водного транспорта
- 23.00.00 Техника и технология наземного транспорта
- 09.00.00 Информатика и вычислительная техника
- 10.00.00 Информационная безопасность
- 15.00.00 Машиностроение

Рис.2. Образовательный портфель ФГБОУ ВО «ВГУВТ» по уровню среднего профессионального образования

На высшем звене (рис.3) реализуются программы по десяти УГСН.



- 26.00.00 Техника и технология кораблестроения и водного транспорта
- 23.00.00 Техника и технология наземного транспорта
- 25.00.00 Аэронавигация и эксплуатация авиационной и ракетно-космической техники
- 10.00.00 Информационная безопасность
- 08.00.00 Техника и технология строительства
- 20.00.00 Техносферная безопасность и природопользование
- 09.00.00 Информатика и вычислительная техника
- 27.00.00 Управление в технических системах
- 38.00.00 Экономика и управление
- 40.00.00 Юриспруденция

Рис.3. Образовательный портфель ФГБОУ ВО «ВГУВТ» по уровню высшего образования

На представленных ОП университетского комплекса (включая шесть филиалов университета) обучается более 15 тысяч студентов и курсантов, что составляет 35% всего контингента вузов Росморречфлота (рис.4)

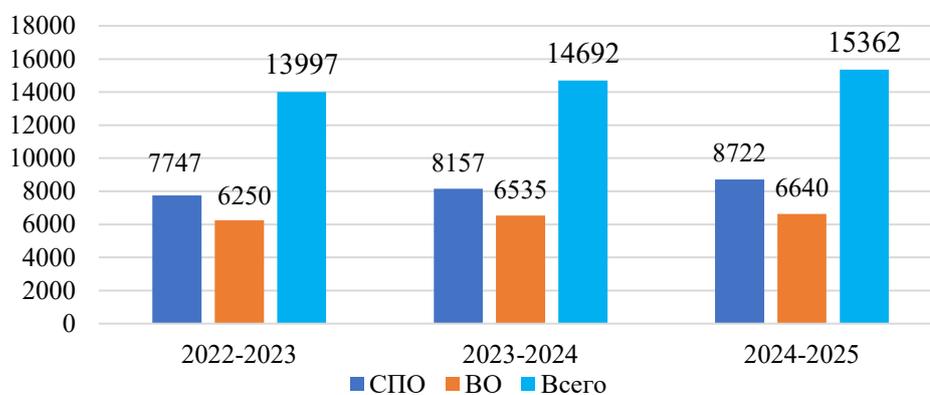


Рис.4. Динамика численности обучающихся в университетском комплексе в 2022-2025 гг.

Около 43 % контингента обучается на программах ВО, 57 % - на программах СПО (рис.5).

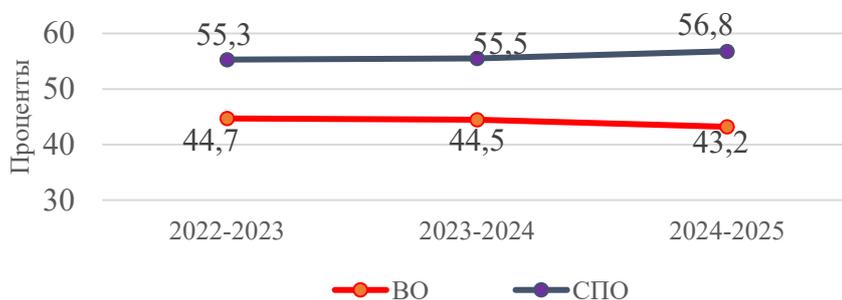
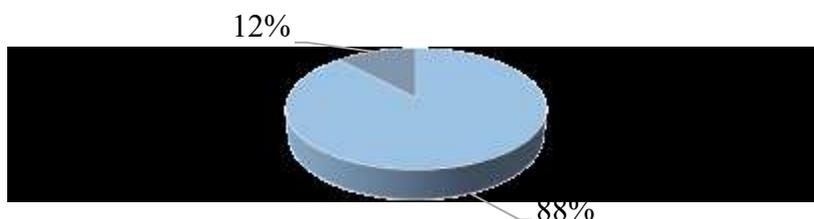


Рис. 5. Процентное соотношение обучающихся по программам ВО и СПО

Около 90% контингента обучается на ОП отраслевых УГСН (рис.6)



- Контингент по отраслевым УГС(Н)
- Контингент по неотраслевым УГС(Н)

Рис. 6. Распределение обучающихся по отраслевым/неотраслевым УГСН

Качество образования, по нашему мнению, обеспечивается, во-первых, качеством проектирования ОП и, во-вторых, - качеством самого образовательного процесса (рис.7). Результатом этих взаимосвязанных этапов является качество подготовки выпускника. Составляющие, обеспечивающие качество каждого этапа, представлены на рис.7 с учетом отраслевой направленности подготовки кадров в транспортном университете.

Важное значение в обеспечении качества образования имеет качество проектирования ОП. Это своего рода пункт «входа» в систему транспортного образования, обеспечивающий ее последующее качество.

На этапе проектирования важным моментом является сопряжение образовательной и профессиональной составляющей программы. В соответствии в ФГОС ВО 3++ профессиональные компетенции разрабатываются образовательной организацией на основе профессиональных стандартов, с учетом мнения работодателей. Все образовательные программы университета имеют положительные рецензии промышленных партнеров.

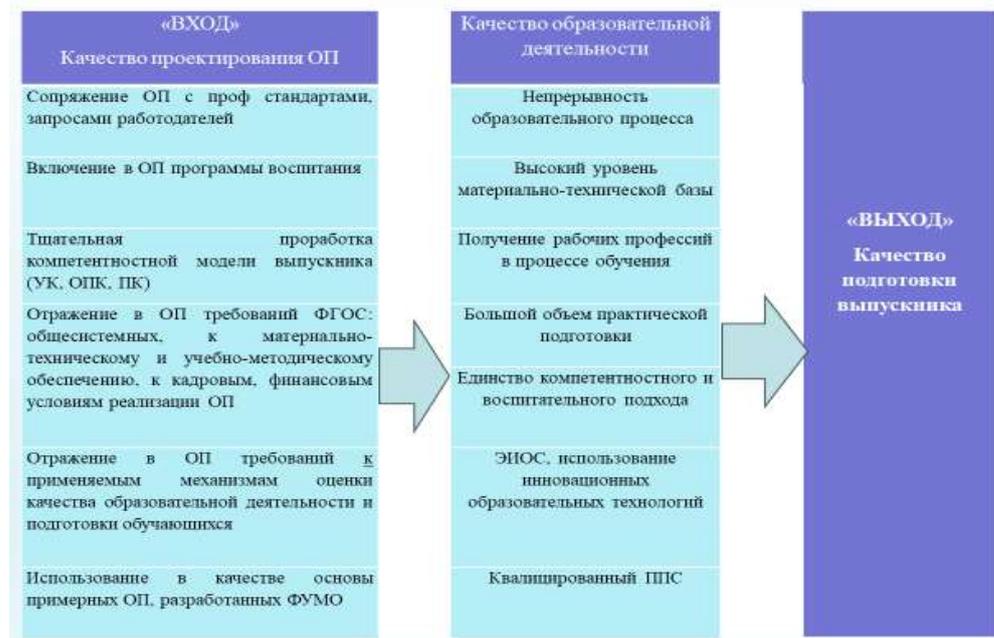


Рис. 7. Обеспечение качества образовательной деятельности и подготовки обучающегося в транспортном университете

При проектировании и реализации ОП особое внимание уделяется формулировке целей программы и условий ее реализации: информационных, кадровых, материально-технических ресурсов ее обеспечения. В концепцию ОП закладывается компетентностная модель будущего специалиста, а также требования к применяемым механизмам оценки качества образовательной деятельности и подготовки обучающихся. [3].

Для обеспечения качества проектирования важно, что за основу принимаются ОП, разработанные Федеральным учебно-методическим объединением (далее-ФУМО) с участием отраслевого академического сообщества.

Если постановка правильных качественных задач на «входе» определяет стратегию развития образования, а оценка на выходе – конечный результат с точки зрения качества, то само формирование качества происходит большей частью в рамках образовательного процесса (рис.7).

Характерной чертой и гарантом качества образовательного процесса в транспортном вузе является обеспечение его непрерывности (табл. 1)

Таблица 1

Синхронизация образовательных программ по уровням образования в ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Уровень СПО	Уровень ВО (в т.ч. ускоренное обучение)
09.02.07 Информационные системы и программирование 10.02.03 Информационная безопасность автоматизированных систем	09.03.02 Информационные системы и технологии 10.05.01 Информационная безопасность автоматизированных систем 25.05.03 Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования

Уровень СПО	Уровень ВО (в т.ч. ускоренное обучение)
23.02.01 Организация перевозок и управление на транспорте	23.03.01 Технология транспортных процессов
	26.03.04 Инженерно-экономическое обеспечение технологий и бизнес-процессов на водном транспорте
23.02.04 Техническая эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования	23.03.01 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов
26.02.03 Судовождение	26.05.05 Судовождение
26.02.02 Судостроение 22.02.06 Сварочное производство	26.05.01 Проектирование и постройка кораблей, судов и объектов океанотехники
26.02.05 Эксплуатация судовых энергетических установок	26.05.06 Эксплуатация судовых энергетических установок
26.02.06 Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики	26.05.07 Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики
26.02.01 Эксплуатация внутренних водных путей	26.03.03 Водные пути, порты и гидротехнические сооружения

Принцип преемственности образовательной системы для формирования современной компетентностной модели выпускников позволил университету активно реализовывать ускоренное обучение выпускников специальностей плавсостава НРУ им. И. П. Кулибина и филиалов университета при поступлении на аналогичные/родственные специальности по уровню ВО. В приём 2025 года в Волжском университете планируется внедрение ускоренного обучения и для выпускников СПО других специальностей. За последние 5 лет три филиала университета (в г. Самара, Рыбинск, Уфа) получили лицензии на реализацию программ ВО, они тоже «запускают» систему непрерывного обучения.

Требования ФГОС ВО по специальностям плавсостава предусматривают наличие высокого уровня материально-технической базы. В ФГБОУ ВО «ВГУВТ» такое оборудование представлено новейшими тренажерами, которые позволят отрабатывать практические навыки по управлению судном в разных ситуациях.

Программы специалитета, особенно программы подготовки плавсостава – это практикоориентированные программы. Так, например объем практической подготовки в соответствии с ФГОС ВО по специальности Судовождение – не менее 57 ЗЕ (для сравнения – по специальности 26.05.01 Проектирование и постройка кораблей, судов и объектов океанотехники – не менее 27 ЗЕ, а по направлению подготовки бакалавриата 26.03.02 Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры – не менее 20 ЗЕ).

В целях качественного решения задач практической подготовки, в т.ч. повышения качества реализации подготовки моряков соответствии с Международной конвенцией ПДНВ 1978 года с поправками, университет выстраивает работу по организации плавательной практики с проверенными стратегическими партнерами, проявившими свою надежность в течение длительных партнерских отношений. Основными стратегическими партнерами университета являются: АО «Судоходная

компания «Волжское пароходство», ООО «ВодоходЪ», Сахалинское морское пароходство, ПАО Завод «Красное Сормово», FESCO (ПАО «ДВМП») и т.д.

Важное значение в обеспечении качества образования имеет получение студентами/курсантами рабочих профессий (моторист, рулевой, матрос, радиооператор и др.) с присвоением квалификаций в процессе обучения. Это позволяет им на производственных практиках работать в штатных должностях, что, несомненно, способствует более качественному освоению компетенций и более глубокому погружению в будущую профессию.

Другая качественная задача современного транспортного образования, реализуемая на этапе проектирования и реализации ОП, – наделение обучающихся широким кругом современных компетенций, обусловленных условиями динамики отраслевой и внешней среды [13]. Это компетенции в сфере цифровых и информационных технологий, экономической культуры, проектной деятельности, коммуникаций и межкультурного взаимодействия, самоорганизации и саморазвития, безопасности жизнедеятельности. Особенно важно развитие экономических знаний, так как в современных условиях технологические процессы тесно смыкаются с бизнес-процессами.

Качество образования в Волжском университете поддерживается на основе единства компетентного и воспитательного подходов в обучении, это способствует творческому развитию и самореализации личности молодого специалиста, что обеспечивает его конкурентоспособность на рынке труда. Сегодня каждая образовательная программа в Волжском университете предусматривает программу воспитания и календарный график мероприятий, реализуемый с учетом профессиональной направленности образовательной программы. Такой подход способствует формированию у студентов духовных, социальных и профессиональных ценностей.

Реализуемый в рамках каждой ОП модуль «Обучение служением» способствует развитию у обучающихся гражданской ответственности, патриотизма, лидерства, гражданской солидарности и традиционных ценностей, в то же время позволят глубже освоить ОП, а также осознать влияние будущей профессии на окружающий мир. Примеры университетских проектов модуля «Обучение служением»: «Кибердружина», проект социализации детей с ограниченными возможностями здоровья и детей, оставшихся без попечения родителей, - «Дружи с финансами», профориентационный просветительский проект - «Детские инженерные школы» и другие.

Ежегодно обновляется учебно-лабораторная база университета. К этому вопросу активно привлекаются кафедры: ежегодно объявляется конкурс на внутривузовский грант на лучший проект по материально-техническому обеспечению учебного процесса. В последние годы лабораторный комплекс университета пополнился криминалистическим тренажером (комплекс виртуального ситуационного моделирования), мобильной лабораторией «Изыскатель», сварочным полигоном, мобильной лабораторией «Цифровая экономика и управление» и др. Необходимо продолжать работу по обновлению лабораторий, тренажерных комплексов и созданию новых компьютерных классов, оснащать учебные аудитории новыми средствами мультимедиа.

Повышение качества образовательного процесса невозможно без внедрения инновационных образовательных технологий и методов организации учебного процесса. Непрерывно осуществляется процесс совершенствования электронной информационно-образовательной среды, развития новых библиотечных технологий и увеличения объема электронных ресурсов как собственных, так и удаленных.

Библиотека ФГБОУ ВО «ВГУВТ» на сегодняшний день имеет лицензионный доступ к ЭБС «Лань» (и на ее платформе к сетевой электронной библиотеке технических вузов Российской Федерации), ЭБС «Юрайт», ЭБС «Знаниум», ЭБ

«Моркнига» и собственную электронную библиотеку, обеспечивает индивидуальный неограниченный доступ обучающихся к электронным библиотекам и электронной-информационно образовательной среде (в доступе – более 130 тысяч документов).

Издательско-полиграфический комплекс университета ежегодно издает порядка 80 печатных трудов преподавателей университета, порядка 30 трудов – издается в электронном виде.

Качество образования сегодня состоит и в готовности выпускника к успешной профессиональной деятельности в условиях цифровой экономики. Это обуславливает необходимость ведения образовательной деятельности по дисциплинам с учетом реалий развития информационного общества и цифровой экономики на основе обучения цифровым технологиям в сфере будущей профессиональной деятельности [5].

В период пандемии университет продемонстрировал готовность к использованию в учебном процессе электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, в том числе на основе системы дистанционного обучения (далее - СДО) «Парус». На сегодняшний день система СДО «Парус» включает 3343 дистанционных курса. Не будем оспаривать очевидный факт, что замена «живых» лекций и семинаров видеолекциями и вебинарами, не способствует повышению качества образования. С другой стороны, неоспоримым преимуществом такого обучения является возможность выстраивать индивидуальные траектории обучения, более гибко планировать учебный процесс.

Важное значение в обеспечении качества использования для совершенствования практических навыков и умений обучающихся в рамках конкретных учебных дисциплин тренажеров виртуальной и дополненной реальности, VR симуляторов и других компьютерных технологий. Достаточно широкое распространение получает использование таких инструментов в учебном процессе: в подготовке электромехаников — это тренажерный комплекс с 3-D визуализацией «Гребные энергетические установки с винто-рулевой колонкой», на кафедре эксплуатации судовых энергетических установок - тренажерный комплекс «Судовые двигатели внутреннего сгорания. Определение фаз газораспределения». В преподавании юридических дисциплин - комплекс виртуального ситуационного моделирования и др.

В университете реализуется модель «Цифровой университет»: с 2024 года на базе электронного документооборота внедряются специализированные сервисы «1-С Университет ПРОФ», «1-С Колледж».

Проблема качества транспортного образования может быть решена только при условии обеспечения высокой профессиональной компетентности и соответствующего методического мастерства профессорско-преподавательского состава (далее-ППС). 65% преподавателей университета имеют степень кандидата наук, 12% - степень доктора наук (рис. 8). Общий процент преподавателей со степенью - 77% (при нормативном значении – 60%).

Анализ возрастного состава отражает старение ППС. Около 12% — это ППС до 40 лет, около 25% - возрастная группа 50-59 лет, около 30% - возрастные группы: 40-49 лет, старше 65 лет (рис.9). Безусловно, следует сосредоточиться на разработке мер по повышению статуса преподавателя и стимулировать профессиональное развитие молодых педагогов.

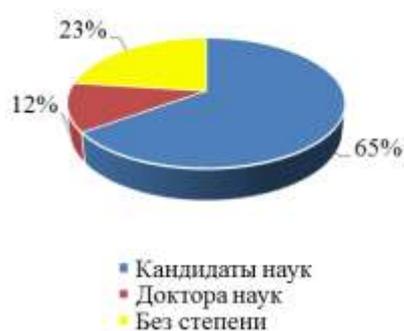


Рис. 8. Качественный состав ППС университета

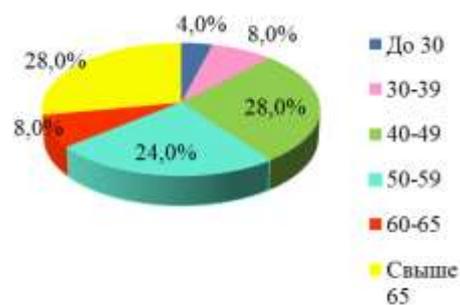


Рис. 9. Возрастной состав ППС университета

Повышению качества образовательной деятельности способствует создание настоящей конкурентной среды, обеспечивающей мотивацию лучших преподавателей. Ежегодно в Волжском университете проводятся конкурсы среди ППС: «Лучшая выпускная квалификационная работа» (по уровню бакалавриата, специалитета, магистратуры), «Лучшее учебно-методическое издание», «Лучший профориентационный проект». Ежегодно к дню рождения университета определяется победитель в номинации «Образовательный процесс» премии «Развитие». Активизации деятельности преподавателя в учебно-методической, научно-исследовательской, воспитательной работе способствует действующая рейтинговая система оценки, по итогам которой осуществляется материальное стимулирование работников. Важным в повышении качества образования является повышение компетентности и уровня квалификации ППС.

Ключевой пункт оценки качества на «выходе» процесса, по нашему мнению, это мнение работодателей. Важна практическая оценка того, насколько выпускник востребован, насколько его знания и практические компетенции современны и более того, насколько у него имеется «запас прочности», насколько полученные знания обеспечивают потенциал его профессионального развития на перспективу [14-15]. Такая оценка происходит при прохождении производственных практик, при включении представителей работодателей в состав государственных аттестационных комиссий, в ходе демонстрационного экзамена. Один из основных показателей качества подготовки специалистов — востребованность выпускников на рынке труда, которая определяется трудоустройством по специальности.

Поддержанию и совершенствованию качества образования способствуют процедуры контроля качества образования. К внутренним процедурам относится самообследование (отчет ежегодно публикуется до 20 апреля на сайте университета). Так же в университете разработана и реализуемая внутренняя системы оценки качества образования. К внешним оценочным процедурам относится аккредитация (с 2022 года проводится в отношении новых программ), аккредитационный мониторинг (проводится в отношении всех образовательных программ)– 1 раз в три года. В 2023 году университет успешно прошел этот мониторинг в рамках пилотного проекта в отношении пятидесяти ОП.

С 2021 года проводится независимая оценка качества условий осуществления образовательной деятельности (не чаще 1 раза в год, не реже 1 раза в 3 года). Головной вуз успешно прошел эти процедуры в 2021, 2023, 2025 гг.

Так же университет поддерживает систему менеджмента качества, которая базируется на положениях международных стандартов ISO: по итогам ресертификации, проведенной в 2024 году ФАУ «Российский морской регистр судоходства», получен сертификат соответствия системы менеджмента ФГБОУ ВО «ВГУВТ» требованиям международного стандарта ISO 9001:2015.

Заключение

Обеспечение качества образования – это постоянный, непрерывный процесс. Федеральный проект «Развитие кадрового потенциала транспортной отрасли» содержит следующие направления повышения качества транспортного образования:

- введение единых образовательных программ в транспортных вузах;
- формирование единого учебно-методического объединения по высшему и среднему профессиональному образованию в области образования «Транспорт»;
- расширение участия в проектах «Профессионалитет», «Передовые инженерные школы»;
- разработка перечня новых профессий, направлений подготовки. Дополнение области образования «Транспорт» новой УГСН «Транспортное строительство и дорожное хозяйство»;
- активное включение в проект «Цифровые кафедры»;
- строительство учебных судов, создание новых учебно-научных лабораторий (мониторинга и обеспечения безопасности Арктики и Северного морского пути, А и Е навигации, автономного судовождения и др.).

Перед транспортными университетами уже сегодня стоит задача разработки совместно с ФУМО проекта ФГОС ВО 4-го поколения. Принципиальные требования к качеству подготовки всех инженеров транспортной отрасли, обусловленные технологическими условиями реализации перевозочного процесса как комплекса системно взаимосвязанных технологий, диктуют необходимость сохранения/установления 5-6 летней программы подготовки инженеров в рамках специалитета. Следующим шагом станет проектирование основных образовательных программ, переход на которые планируется с 1 сентября 2026 года.

Таким образом, развитие отраслевого транспортного образования в целях повышения качества образования будет осуществляться с использованием комплексного, системного подхода. Он будет ориентирован на применение в полной мере тех инструментов, которые используют все российские вузы, но с учетом их адаптации и конкретизации методов использования применительно к особенностям транспортной отрасли и отраслевого образования.

Список литературы

1. Транспортная стратегия РФ до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, утверждена распоряжением Правительства РФ от 27.11.2021 №3363-р.
2. Концепция подготовки кадров для транспортного комплекса до 2035 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 06.02.2021 №255-р).
3. Авдашкин А.А. Подходы к определению понятия «качество образования»/А.А. Авдашкин, А.А. Пас //Научно-методическое обеспечение оценки качества образования. 2018. №2 (5). С.21-26.
4. Ефимова Е.М. Качество высшего образования в Российской Федерации: системный подход и современный взгляд/ Е.М. Ефимова, Д.О. Ефимов// ZNANSTVENA MISEL.2001. №58. С.30-36.
5. Дрондин А. Л. Качество высшего образования в условиях цифровой трансформации // Бизнес. Образование. Право. 2023. № 2(63). С. 353—357.
6. Тихонова О.Ю. Современные тенденции качества и доступности высшего образования как элемента экономической безопасности России /О.Ю. Тихонова, С.Р. Царегородцева, Т.В. Котова// Креативная экономика. 2023. Том 17. № 10. С. 3849–3862.
7. Духно Н.А. Качество транспортного образования/Н.А. Духно//Транспортное право и безопасность. 2020. №4(36). С.14-23.
8. Духно Н.А. Проблемы совершенствования транспортного образования в Российской Федерации/Н.А. Духно//Юридическое образование и наука. 2020. № 7. С. 20-24.

9. Калганова Н. В. Модель подготовки специалиста отраслевого транспортного вуза в контексте обеспечения качества конкурентоспособной среды // Научно-педагогическое обозрение (Pedagogical Review). 2023. Вып. 2 (48). С. 98–105.
10. Попова Н. Б. Образовательные технологии в транспортном вузе: методы и приемы работы со студентами/ Н.Б. Попова, И.Н. Кагадий, Е.А. Сиденкова // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения: Гуманитарные исследования. 2024. № 1 (20). С. 69–75.
11. Лаврентьева Е.А. Правовое регулирование независимой оценки квалификации работников водного транспорта/Лаврентьева Е.А., Некрасов А.В.// Транспортное дело России. 2023. № 5. С. 198-203.
12. Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ (ред. от 28.12.2024) "Об образовании в Российской Федерации"
13. Чеботарев В.С. Инновационное развитие предприятий водного транспорта как отрасли высокотехнологичной промышленности/ В.С. Чеботарев, И.К. Кузьмичев// Научные проблемы водного транспорта.2024. №79 (2). С.190-200.
14. Крайнова В.В. Тренды развития экономики морского и речного транспорта в условиях пост-пандемии и новых санкций/В.В. Крайнова// Научные проблемы водного транспорта. 2022. № 73. С. 137-147.
15. Кудрявцева И.Ю. Дефицит кадров как основная угроза кадровой безопасности на предприятиях водного транспорта/И.Ю. Кудрявцева//Научные проблемы водного транспорта. 2025. №81 (4). С.152-165.

References

1. The transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035, approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated 11/27/2021 No. 3363-R.
2. The concept of personnel training for the transport complex until 2035 (approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated 02/06/2021 No.255-р).
3. Avdashkin A.A. Approaches to the definition of "the quality of education"/A.A. Avdashkin, A.A. Pas //Scientific and methodological support for the assessment of the quality of education. 2018. No. 2 (5). pp.21-26.
4. Efimova E.M. The quality of higher education in the Russian Federation: a systematic approach and a modern view/ E.M. Efimova, D.O. Efimov//
 1. ZNANSTVENA MISEL.2001. No. 58. pp.30-36.
 5. Drondin A. L. The quality of higher education in the context of digital transformation // Business. Education. Right. 2023. No. 2(63). pp. 353-357.
 6. Tikhonova O.Y. Modern trends in the quality and accessibility of higher education as an element of Russia's economic security /O.Y. Tikhonova, S.R. Tsaregorodtseva, T.V. Kotova // Creative Economy. 2023. Volume 17. No. 10. pp. 3849-3862.
 7. Dukhno N.A. The quality of transport education/N.A. Dukhno//Transport law and security. 2020. No. 4(36). pp.14-23.
 8. Dukhno N.A. Problems of improving transport education in the Russian Federation/N.A. Dukhno//Legal education and science. 2020. No. 7. pp. 20-24.
 9. Kalganova N. V. The model of training a specialist in an industrial transport university in the context of ensuring the quality of a competitive environment // Scientific and Pedagogical Review. 2023. Issue 2 (48). pp. 98-105.
 10. Popova N. B. Educational technologies in a transport university: methods and techniques of working with students/ N.B. Popova, I.N. Kagady, E.A. Sidenkova // Bulletin of the Siberian State University of Railway Transport: Humanitarian Research. 2024. No. 1 (20). pp. 69-75.
 11. Lavrentieva E. A. Legal regulation of independent assessment of qualifications of water transport workers/Lavrentieva E.A., Nekrasov A.V.// Transport business of Russia. 2023. No. 5. pp. 198-203.
 12. Federal Law No. 273-FZ of December 29, 2012 (as amended on December 28, 2024) "On Education in the Russian Federation"
 13. Chebotarev V.S. Innovative development of water transport enterprises as a branch of high-tech industry/ V.S. Chebotarev, I.K. Kuzmichev // Scientific problems of water transport.2024. No.79 (2). pp.190-200.

14. Krainova V.V. Trends in the development of the economy of marine and river transport in the context of the post-pandemic and new sanctions/V.V. Krainova // Scientific problems of water transport. 2022. No. 73. pp. 137-147.
15. Kudryavtseva I.Y. Shortage of personnel as the main threat to personnel security at water transport enterprises/I.Y. Kudryavtseva//Scientific problems of water transport. 2025. No. 81(4). pp.152-165.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кузьмичев Игорь Константинович, доктор технических наук, профессор, ректор, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: rector@vsuwt.ru

Igor K. Kuzmichev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector, Volga State University of Water Transport, 5 Nesterova St., Nizhny Novgorod, 603950, e-mail: rector@vsuwt.ru

Крайнова Вера Владимировна, кандидат экономических наук., доцент, проректор по образовательной деятельности, доцент кафедры бухгалтерского учета, анализа и финансов Волжский государственный университет водного транспорта», 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: krainova.vv@vsuwt.ru

Vera V. Krainova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Educational Affairs, Associate Professor of the Department of Accounting, Analysis and Finance, Volga State University of Water Transport, 5 Nesterova str., Nizhny Novgorod, 603950, e-mail: krainova.vv@vsuwt.ru

Статья поступила в редакцию 13.04.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 13.04.2025; published online 20.06.2025.

УДК: 656.6

DOI:10.37890/jwt.vi83.600

Эволюция логистических узлов на внутренних водных путях: от транзитных точек к интеллектуальным транспортным центрам

И.К. Кузьмичев¹

ORCID: 0000-0001-8186-0544

С.С. Чеботарев¹

ORCID: 0000-0002-2920-8150

И.В. Бондарь²

ORCID: 0009-0005-4563-1695

¹*Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия*

²*Военный университет имени князя Александра Невского Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Россия*

Аннотация. Статья посвящена исследованию процессов трансформации логистических узлов на внутренних водных путях (ВВП) России в интеллектуальные транспортные центры, способные интегрироваться в цифровую мультимодальную инфраструктуру страны. Актуальность исследования обусловлена необходимостью модернизации устаревших речных портов, повышения их логистической эффективности и соответствия стратегическим приоритетам государства в области цифровизации, устойчивого развития и пространственной связанности территорий.

На основе анализа стратегических документов (Указ Президента РФ № 309, Транспортная стратегия РФ, национальные проекты), научной литературы и зарубежного опыта, обоснована потребность в переходе от традиционных перевалочных пунктов к интеллектуальным логистическим центрам с развитой цифровой инфраструктурой, предиктивным управлением, интеграцией с другими видами транспорта и экологическим модулем.

Авторами разработана концептуальная модель интеллектуального логистического центра, включающая пять ключевых компонентов: цифровую платформу управления, предиктивную аналитику и искусственный интеллект (ИИ), интерфейсы с железнодорожной и автотранспортной сетью, экологический модуль и цифровой двойник логистического узла. Данная модель соответствует положениям действующих государственных программ и отражает международные тенденции в области развития «умных портов» и «зелёной логистики».

Ключевые слова: внутренние водные пути, логистический узел, интеллектуальный транспортный центр, цифровизация, устойчивое развитие, Транспортная стратегия РФ, логистика, речной транспорт, цифровая платформа, предиктивная аналитика.

Evolution of logistics hubs on inland waterways: from transit points to intelligent transport centers

Igor K. Kuzmichev¹

ORCID: 0000-0001-8186-0544

Stanislav S. Chebotarev¹

ORCID: 0000-0002-2920-8150

Ilya V. Bondar²

ORCID: 0009-0005-4563-1695

¹*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

²*Prince Alexander Nevsky Military University of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia*

Abstract. The article explores the transformation of logistics hubs on Russia's inland waterways (IWW) into intelligent transport centers capable of integrating into the country's digital multimodal infrastructure. The relevance of the study is driven by the urgent need to modernize outdated river ports, enhance their logistics efficiency, and align their functions with national priorities in digitalization, sustainability, and spatial connectivity.

Based on the analysis of strategic documents (Presidential Decree No. 309, the Transport Strategy of the Russian Federation, and national projects), scholarly literature, and international case studies, the authors justify the need for a systemic shift from traditional transshipment points to smart logistics hubs. These centers are to be equipped with advanced digital platforms, predictive management systems, multimodal integration capabilities, and environmental control technologies.

The paper presents a conceptual model of an intelligent logistics center comprising five core components: a digital management platform, predictive analytics and artificial intelligence, multimodal integration interfaces, an environmental monitoring module, and a digital twin of the logistics node. This model aligns with both Russian state strategies and global trends in the development of smart ports and green logistics.

Keywords: inland waterways, logistics hub, intelligent transport center, digitalization, sustainable logistics, Transport Strategy of the Russian Federation, river ports, predictive analytics, multimodal transport.

Введение

Внутренние водные пути (ВВП) являются важнейшей составляющей транспортной системы России, обладая значительным потенциалом для формирования устойчивой, сбалансированной и ресурсосберегающей логистической инфраструктуры. При этом они задействованы преимущественно как транзитные маршруты, в то время как их логистическая функция как узлов интеграции и перераспределения потоков остаётся недостаточно развитой. Современные вызовы и ориентиры государственной политики требуют пересмотра подходов к организации логистики на ВВП и перехода от традиционной модели эксплуатации к цифровой, интеллектуальной и экологической устойчивой.

Современные вызовы – такие как цифровая трансформация экономики, климатическая устойчивость и повышение технологического суверенитета – диктуют необходимость переосмысления традиционных моделей логистики на ВВП. Переход от простых перевалочных пунктов и транзитных портов к интеллектуальным логистическим центрам становится ключевым направлением развития. Такие центры предполагают внедрение цифровых платформ, систем предиктивного управления, автоматизации операций, а также интеграции в мультимодальные транспортные коридоры с единым управлением.

Одним из приоритетов стратегического развития России является пространственная связанность территорий, повышение качества транспортных услуг и устойчивое развитие логистики. Эти цели чётко обозначены в Указе Президента РФ от 7 мая 2024 г. № 309, где развитие высокотехнологичной транспортной инфраструктуры рассматривается как основа для достижения национальных целей до 2036 года. В частности, упор делается на необходимость формирования комфортной среды для жизни, устойчивой экономики и повышения технологического суверенитета, включая цифровизацию критических отраслей [1].

Развитие логистических узлов на ВВП прямо поддерживается рядом крупных государственных программ. В рамках Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом до 2035 года предусмотрена модернизация и цифровая трансформация ключевых транспортных направлений, усиление роли внутренних водных путей в мультимодальных грузовых коридорах, а также развитие интеллектуальных транспортных систем. Стратегия декларирует необходимость создания «нового облика логистических узлов», включающих цифровые платформы

управления потоками, интеграцию с другими видами транспорта, внедрение технологий ИИ и автоматизации [2].

Дополнительно, в рамках национального проекта «Эффективная транспортная система» и федерального проекта «Развитие инфраструктуры опорной сети внутренних водных путей», реализуется программа модернизации гидротехнических сооружений и речной портовой инфраструктуры. В этих инициативах акцент сделан на создание современных перегрузочных комплексов, способных функционировать как полноценные логистические хабы [3].

Приведенные факты свидетельствуют о том, что развитие логистических узлов на внутренних водных путях как интеллектуальных транспортных центров находится в русле общенациональных стратегических приоритетов. Это направление приобретает не только экономическую, но и социальную значимость, напрямую влияя на связанность страны, устойчивость логистических цепей, снижение углеродного следа и технологическое развитие отечественного транспортного комплекса.

Вопросы развития логистических узлов на внутренних водных путях России рассматриваются в научной среде с позиций транспортной географии, логистики, цифровой трансформации, системного анализа и государственного стратегирования. Несмотря на признание ВВП как одного из ключевых компонентов транспортной системы России, в научной литературе сохраняется определённый дефицит комплексных работ, охватывающих аспекты интеллектуализации логистических узлов и их интеграции в цифровую мультимодальную экосистему. Научные исследования в данном направлении остаются фрагментарными, а понятийно-категориальный аппарат требует дальнейшего уточнения.

В отечественной научной литературе значительное внимание уделяется проблемам модернизации инфраструктуры ВВП и их роли в транспортной системе страны. Так, в работах А.Б. Новосельцева анализируется потенциал внутренних водных путей в контексте интеграции России в международные транспортные коридоры, подчёркивается необходимость развития портовой и логистической инфраструктуры [4]. Г.Л. Гладков акцентирует внимание на системных проблемах ВВП — изношенности инфраструктуры, ограниченной пропускной способности и фрагментированной цифровизации, что тормозит превращение речных портов в логистические узлы нового поколения [5].

В контексте цифровизации логистических процессов перспективные направления раскрываются в работах А.С. Козлова и Г.И. Шепелина, где рассматривается интеллектуализация водного транспорта, включая элементы предиктивной аналитики, автоматизации и интеграции в цифровую логистическую среду [6]. Отдельного внимания заслуживает структурно-логическая модель транспортного кластера, предложенная К.Б. Квитко, в которой обоснована необходимость формирования узловых логистических точек на базе различных видов транспорта, включая внутренний водный, с учётом синергетического эффекта [7].

Международный научный дискурс демонстрирует более активное развитие концепций «умных портов» (*smart ports*) [8-9], «зеленой логистики» (*green logistics*) [11] и цифровых двойников логистических объектов [8, 10, 12]. В частности, исследования, проведённые на примере Рейна, Дуная и Великих озёр в США и Канаде [11-13], подтверждают высокую эффективность интеграции ВВП в единую цифровую логистическую инфраструктуру. Тем не менее, перенос этих моделей на российскую действительность требует адаптации к масштабам территории, климатическим условиям и уровню развития цифровой экономики.

На сегодняшний день отсутствует унифицированный подход к определению «интеллектуального логистического центра» на внутренних водных путях. Не разработаны стандарты оценки уровня цифровизации речных портов и логистических узлов, недостаточно изучены механизмы взаимодействия ВВП с другими видами транспорта в рамках сквозных логистических цепей.

Таким образом, на наш взгляд, сформировался очевидный научный и прикладной пробел, заключающийся в отсутствии комплексной концепции эволюции логистических узлов на внутренних водных путях от транзитных пунктов к высокотехнологичным интеллектуальным центрам. Это определяет актуальность настоящего исследования и его вклад в развитие теоретико-методологической базы в области транспортной логистики.

Несмотря на стратегические ориентиры, изложенные в государственных программах и научных публикациях, развитие логистических узлов на внутренних водных путях России сталкивается с рядом системных проблем, существенно ограничивающих их функциональность и перспективность в качестве интеллектуальных транспортных центров.

В стране помимо большого числа речных портов функционируют 67 морских хабов, находящихся в 5 океанских бассейнах. Их пропускная способность грузов только в 2020 года составляла 1224 млн. тонн в год. Масштабы перемещения грузов по воде в России превышают 108 млн. тонн со средним расстоянием свыше 600 километров. Однако участие морских и речных портов внутри страны в грузообороте отмечается только на уровне 2 процентов (при этом, например, в Китае - 7 процентов, в Германии - 8 процентов). Очевидно, что здесь имеются нереализованные резервы и возможности. Если посмотреть в ретроспективе, то в Союзе Советских Социалистических Республик в 1985 году этот показатель достигал 9 процентов. Преобладающими видами грузов являются строительные (51 %), продукты нефтепереработки (18 %), зерновые (6 %) и лесоматериалы (5,4 %) [14].

Таблица. 1

Данные о грузообороте морских портов России за 2022-2024 [15]

№	Морские порты России (по бассейнам)		Грузооборот (млн. тонн)			Среднегодовая загруженность на 1 ед. порта
			2022	2023	2024	
1	Дальневосточный бассейн	22 порта	227,8	238,1	236,5	31,9
2	Арктический бассейн	18 портов	98,5	97,9	92,9	16,1
3	Азово-Черноморский бассейн	17 портов	263,6	291,4	275,7	48,9
4	Балтийский бассейн	7 портов	245,6	248,6	273	109,6
5	Каспийский бассейн	3 порта	6	7,8	8,1	7,3

Прежде всего, значительная часть логистических объектов на ВВП продолжает функционировать в традиционной модели перевалочных пунктов, не обеспечивая глубокой логистической обработки грузов, цифрового мониторинга операций и интеграции с другими видами транспорта. Инфраструктурная изношенность, ограниченная пропускная способность шлюзов и гидроузлов, а также недостаток

современного перегрузочного оборудования препятствуют формированию полноценных мультимодальных логистических центров.

Кроме того, цифровизация внутреннего водного транспорта в России развивается неравномерно. Отсутствуют унифицированные цифровые платформы управления логистическими процессами на ВВП, не внедрены технологии предиктивной аналитики и интеллектуального управления грузопотоками. Механизмы обмена данными между участниками логистических цепей слабо автоматизированы, что затрудняет интеграцию речных хабов в сквозные цифровые транспортные коридоры.

На уровне нормативного регулирования и стратегического планирования также наблюдается несогласованность. Хотя ключевые государственные документы (Указ № 309, Транспортная стратегия РФ, нацпроекты) содержат положения о развитии интеллектуальных логистических систем, в них отсутствует чёткое определение критериев и параметров «умного» логистического узла на ВВП, не определены этапы и приоритеты такой трансформации применительно к речной инфраструктуре [1-3].

В этой связи возникает необходимость научно обоснованного анализа эволюции логистических узлов ВВП — от базовых транзитных структур к интеллектуальным транспортным центрам нового типа, способным функционировать в условиях цифровой экономики и устойчивой логистики.

Цель настоящего исследования — разработать концептуальные и структурные основы трансформации логистических узлов на внутренних водных путях России в интеллектуальные транспортные центры, соответствующие задачам государственной транспортной политики и вызовам технологической модернизации.

Задачи исследования:

1. Проанализировать текущее состояние и выявить типологию логистических узлов на ВВП России.
2. Сформулировать основные критерии интеллектуализации логистических узлов.
3. Разработать модель эволюции узлового объекта ВВП – от транзитной функции к интеллектуальному логистическому центру.
4. Сопоставить предложенную модель с приоритетами национальных стратегий и выявить зоны соответствия и отставания.
5. Сформулировать практические рекомендации по модернизации речных логистических объектов в контексте цифровой трансформации транспортной отрасли.

Настоящее исследование направлено на восполнение теоретического и прикладного дефицита знаний в области стратегического развития логистических узлов на внутренних водных путях, с учётом современных вызовов цифровизации, устойчивости и пространственной интеграции.

Теоретическая значимость данного исследования заключается в развитии научного подхода к пониманию логистического узла внутреннего водного транспорта как объекта, способного эволюционировать в интеллектуальную, цифрово управляемую и интегрированную в общую сеть структуру. В рамках исследования формируется понятийно-категориальный аппарат, предлагается классификация уровней развития логистических узлов на ВВП и выстраивается концептуальная модель их трансформации на основе синтеза логистической теории, системного подхода, а также принципов устойчивого и цифрового развития транспортной инфраструктуры.

Научная новизна исследования заключается в:

- систематизации факторов, влияющих на интеллектуализацию логистических узлов ВВП;
- разработке методологических оснований для перехода от транзитной модели к модели интеллектуального логистического центра;

- интеграции положений национальных стратегий в логистическую концепцию цифровой трансформации речных хабов;
- формулировании критериев оценки «интеллектуальности» логистического узла применительно к условиям внутреннего водного транспорта России.

Практическая значимость исследования обусловлена возможностью применения его результатов в управлении, планировании и модернизации транспортно-логистической инфраструктуры. Предложенные в работе решения могут быть использованы:

- федеральными и региональными органами власти при реализации положений Указа Президента РФ № 309, Транспортной стратегии РФ и национального проекта «Эффективная транспортная система»;
- транспортными операторами и портовыми администрациями для обоснования инвестиционных проектов по модернизации узлов ВВП;
- проектными организациями при разработке моделей «умных портов» и мультимодальных хабов;
- научно-образовательным сообществом для развития прикладных исследований в сфере транспортной логистики и цифровизации инфраструктуры.

Результаты исследования ориентированы как на развитие научного знания, так и на реализацию практических управленческих решений, способствующих повышению эффективности и технологической зрелости логистической системы России на базе внутренних водных путей.

Методы исследования

Методологическую основу исследования составляет системный подход, предполагающий рассмотрение логистических узлов на внутренних водных путях как элементов сложной многоуровневой транспортно-логистической системы, взаимодействующей с государственными, экономическими и цифровыми структурами. Применяется также функциональный подход к анализу логистического узла как инфраструктурного объекта, выполняющего ряд интегративных и распределительных функций в цепях поставок.

В рамках исследования используются положения стратегического планирования, элементы транспортного моделирования, а также концепции цифровой трансформации и устойчивого развития, заложенные в национальных и отраслевых стратегических документах (в частности, в Указе Президента РФ № 309 и Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года).

Для достижения цели и задач исследования применялся комплекс взаимодополняющих методов:

- Контент-анализ нормативных и стратегических документов Российской Федерации (Указ № 309, Транспортная стратегия РФ, нацпроекты), направленный на выявление целевых ориентиров и механизмов модернизации ВВП.
- Кейс-анализ и сравнительный метод, использованные для изучения практик формирования интеллектуальных логистических узлов в зарубежных странах (Германия, Нидерланды, США, Китай) и оценки применимости этих моделей в российских условиях.
- Типологический анализ, позволивший классифицировать существующие логистические узлы на ВВП России по уровням развития и выявить особенности их функционирования.
- Экспертный опрос специалистов в области водного транспорта, логистики, проектирования портовой инфраструктуры и цифровых технологий. Метод

позволил получить оценку текущего состояния узлов и перспектив их модернизации.

- Геоинформационный анализ (GIS) использовался для пространственного картирования расположения ключевых логистических узлов на ВВП, анализа их связности и потенциала включения в мультимодальные маршруты.
- Моделирование: разработка концептуальной схемы интеллектуального логистического центра на базе речного порта с включением цифровых, операционных и управленческих компонентов. Использовались элементы структурного и логического моделирования.
- SWOT-анализ, проведённый для оценки сильных и слабых сторон, возможностей и угроз, связанных с развитием интеллектуальных логистических узлов на ВВП.

Этапы выполнения исследования

1. Анализ стратегических и нормативных документов для выявления государственной повестки в области развития ВВП и логистической инфраструктуры.
2. Сбор и систематизация эмпирических данных о текущем состоянии речных логистических узлов в различных регионах России.
3. Классификация логистических узлов по критериям развития, функциональной нагрузки и степени цифровизации.
4. Проведение экспертного опроса и обобщение полученных оценок относительно перспектив и барьеров модернизации узлов.
5. Разработка модели интеллектуального логистического центра, адаптированной под условия ВВП России.
6. Анализ соответствия предложенной модели стратегическим целям государства, формулировка практических рекомендаций и выводов.

Применение комплексного подхода и разнообразных методов обеспечило всестороннее рассмотрение исследуемой темы и повысило достоверность полученных результатов.

Результаты исследования

Классификация логистических узлов на ВВП по уровню развития. На основе проведённого анализа разработана типология логистических узлов, функционирующих на внутренних водных путях России, согласно степени их технологической зрелости и функциональной сложности. Выделены три уровня развития:

I уровень – транзитно-перевалочные пункты. Основу составляют речные порты, выполняющие базовые функции погрузки/разгрузки без развития логистических сервисов. Характеризуются отсутствием цифровой инфраструктуры, слабо интегрированы в региональные логистические схемы. Примеры: порты малой мощности на Оке, Каме, Лене.

II уровень – мультимодальные логистические узлы. Объекты, обеспечивающие стыковку водного транспорта с железнодорожным или автомобильным, частично автоматизированные, с наличием складских комплексов. Такие узлы играют важную роль в перераспределении потоков, но требуют модернизации. Примеры: порты Нижнего Новгорода, Астрахани, Самары.

III уровень – интеллектуальные транспортные центры (концептуальный уровень). Узлы, обладающие цифровыми платформами управления, автоматизированными терминалами, предиктивной логистикой и возможностью включения в международные логистические коридоры. В настоящий момент отсутствуют в реальности, однако отдельные элементы реализуются в портах Ростова-на-Дону, Усть-Луги, Бронки.

Оценка состояния логистических узлов на ВВП. В ходе геоинформационного анализа и экспертной оценки выделены ключевые речные логистические узлы, обладающие потенциалом для модернизации:

Таблица. 2

Состояние логистических узлов на внутренних водных путях

Регион	Перспективные порты	Уровень развития (2024)	Потенциал роста
Приволжский ФО	Самара, Казань, Нижний Новгород	II	Высокий
Южный ФО	Ростов-на-Дону, Волгоград	II	Очень высокий
Северо-Западный ФО	Великий Новгород, Чебоксары, Ульяновск	I-II	Средний

На основании анализа выявлены основные инфраструктурные, организационные и технологические барьеры:

1. Устаревшие терминальные мощности и гидротехнические сооружения.

На территории России эксплуатируется 741 судоходное гидротехническое сооружение (ГТС), из которых лишь около половины находятся в работоспособном состоянии. Это свидетельствует о значительном износе инфраструктуры, что ограничивает пропускную способность и безопасность судоходства. За последние четыре года устранено более 9 тыс. км лимитирующих участков, что позволило увеличить пропускную способность внутренних водных путей на 12,6 млн тонн [16].

2. Низкая степень автоматизации перегрузочных операций.

В большинстве речных портов России уровень автоматизации перегрузочных работ остаётся низким. Многие операции выполняются вручную или с использованием устаревшего оборудования, что снижает эффективность и увеличивает издержки. Современные подходы к автоматизации, такие как внедрение роботизированных систем и интеллектуальных кранов, пока применяются ограниченно и требуют значительных инвестиций [17].

3. Отсутствие цифровых платформ логистического управления.

Несмотря на развитие цифровых технологий, многие речные порты России не оснащены современными системами управления логистическими процессами. Отсутствие единой цифровой платформы затрудняет координацию между различными участниками логистической цепи, снижает прозрачность операций и увеличивает время обработки грузов. Инициативы по созданию национальной цифровой транспортно-логистической платформы находятся на начальной стадии реализации [18-19].

4. Слабая интеграция с железнодорожной и автотранспортной сетью.

Многие речные порты не имеют прямого доступа к железнодорожной или автомобильной инфраструктуре, что ограничивает их возможности в организации мультимодальных перевозок. Недостаточная интеграция с другими видами транспорта приводит к увеличению времени доставки и повышению логистических затрат. Развитие мультимодальных логистических центров на базе речных портов рассматривается как перспективное направление, однако требует комплексного подхода и значительных инвестиций [20].

5. Низкая инвестиционная привлекательность отрасли.

Отрасль внутреннего водного транспорта России сталкивается с низкой инвестиционной привлекательностью, обусловленной рядом факторов: высоким уровнем износа инфраструктуры, отсутствием стабильного спроса на перевозки, недостаточной государственной поддержкой и сложностями в привлечении частных инвестиций. Для повышения инвестиционной привлекательности необходимы меры по модернизации инфраструктуры, созданию благоприятных условий для инвесторов и развитию государственно-частного партнёрства [21].

Эти барьеры требуют комплексного подхода к их преодолению, включая модернизацию инфраструктуры, внедрение современных технологий, развитие цифровых платформ и улучшение инвестиционного климата в отрасли.

Модель интеллектуального логистического центра на ВВП. Авторами разработана концептуальная модель интеллектуального логистического центра на базе речного порта, которая опирается на принципы цифровизации, устойчивости и интеграции в глобальные цепочки поставок.

Интеллектуальный логистический центр на ВВП должен представлять собой многофункциональную цифровую платформу, способную кардинально изменить характер речной логистики в России. Адаптация лучших международных практик с учётом отечественных условий позволит создать основу для формирования современной, устойчивой и конкурентоспособной логистической инфраструктуры.

В основе модели интеллектуального логистического центра лежит пять ключевых компонентов, каждый из которых формирует функциональную основу цифровой логистической экосистемы.

1. Цифровая платформа управления. Цифровая платформа — центральный элемент интеллектуального логистического центра, предназначенный для объединения всех участников логистического процесса: операторов портов, транспортных компаний, таможенных органов, грузоотправителей и получателей. Платформа обеспечивает: сквозной электронный документооборот; управление грузопотоками в реальном времени на основе интернета вещей и GPS-данных; автоматизированное планирование операций в порту. Так, например, в порту Роттердама внедрена цифровая платформа Portbase, позволяющая участникам в реальном времени отслеживать статус грузов, оптимизировать логистические операции и снижать административные издержки. В результате, по данным самой платформы, среднее время обработки документов сократилось на 30%, а производительность на терминалах увеличилась на 15% [11].

2. Предиктивная аналитика и искусственный интеллект. Предиктивная аналитика используется для прогнозирования спроса, анализа загруженности портов, моделирования сценариев и автоматизации принятия решений. Искусственный интеллект позволяет предсказывать пики логистической нагрузки; строить оптимальные маршруты с учётом метеоусловий и плотности трафика; оптимизировать работу складов и кранов в реальном времени. Например, в порту Сингапура используются ИИ-модули, способные прогнозировать потребности в складских ресурсах на основе данных предыдущих поставок. Это позволило на 20% сократить простои судов и на 12% увеличить пропускную способность терминалов [13].

3. Интеграционные интерфейсы с другими видами транспорта. Интеллектуальный логистический центр на ВВП должен быть тесно связан с железнодорожной и автомобильной инфраструктурой. Это достигается через цифровую стыковку с системами управления ж/д и автотранспортом; автоматизированный расчёт времени прибытия и выгрузки; в перспективе — подключение к беспилотным системам доставки (в том числе дронам и автономным грузовикам). Подобный опыт имеется в Германии, в портах на Рейне (Дуйсбург, Кельн), которые интегрированы с железнодорожными узлами через единый интерфейс KV 4.0, обеспечивающий автоматический обмен данными между портами, железнодорожными операторами и клиентами. Это позволяет более точно планировать отправки и минимизировать задержки.

4. Экологический модуль. Современный логистический центр должен соответствовать требованиям экологической устойчивости. Для этого в модель включён экологический модуль, предназначенный для реализации автоматизированного мониторинга выбросов парниковых газов; контроля уровня

шума и энергопотребления; внедрения зелёных технологий, включая альтернативное судовое топливо, береговое электроснабжение и использование солнечной энергии. Так, Дунайский порт Эннс (Австрия) внедрил экологический модуль контроля выбросов и перешёл на электрические краны. Это позволило сократить углеродный след на 18% за три года [10].

5. Цифровой двойник логистического узла. Цифровой двойник — виртуальная копия порта, в которой моделируются логистические процессы в реальном времени. Он позволяет тестировать различные сценарии развития (расширение терминалов, рост потока); проводить имитационное моделирование узких мест и перегрузок; управлять логистическим узлом удалённо и в режиме повышенной адаптивности. В Канаде порт Монреаля внедрил цифрового двойника, что позволило сократить количество логистических сбоях при резком росте спроса на 40% и снизить потери, связанные с перегрузкой терминалов [8].

По оценкам экспертов Всемирного банка и UNCTAD, внедрение интеллектуальных компонентов в портах позволяет достичь следующих эффектов:

- повышение логистической эффективности на 25–40%;
- снижение затрат на единицу груза на 10–20%;
- улучшение экологических показателей (на 15–30% в зависимости от уровня автоматизации);
- рост инвестиционной привлекательности территории и ускорение интеграции в глобальные логистические цепочки [22].

Авторами проведён сравнительный анализ предложенной модели и положений:

- Указа Президента РФ № 309 (блоки: «высокотехнологичная экономика», «пространственное развитие», «экологический транспорт»);
- Транспортной стратегии РФ до 2030 года (блоки: «цифровизация», «умные транспортные узлы», «интеграция инфраструктуры»);
- Нацпроекта «Эффективная транспортная система» (блок: «развитие опорной сети ВВП»).

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что предложенная модель соответствует всем основным направлениям стратегических документов и может служить теоретической и практической основой при проектировании, планировании и модернизации речных логистических объектов.



Рис. 1. Структурная схема модели интеллектуального логистического центра на ВВП

Обсуждение результатов

Результаты, полученные в ходе исследования, подтверждают актуальность и необходимость системного преобразования логистических узлов на внутренних водных путях (ВВП) в интеллектуальные транспортные центры. Выявленные уровни развития речных логистических объектов позволяют проследить их эволюционную траекторию и очертить направления модернизации, соответствующие современным вызовам транспортной отрасли и приоритетам государственной политики.

Анализ текущего состояния речной инфраструктуры продемонстрировал, что подавляющее большинство узлов на ВВП функционируют в устаревших логистических моделях, ориентированных на линейные перевалочные операции. Даже те порты, которые условно отнесены ко второму уровню (мультимодальные центры), обладают ограниченными возможностями цифрового управления и требуют глубокой технологической модернизации. Это подтверждается и экспертными оценками, которые указывают на хронические проблемы недоинвестированности, слабой интеграции с другими видами транспорта и отсутствия цифровых платформ.

Разработанная в рамках исследования модель интеллектуального логистического центра опирается на интеграцию цифровых, аналитических и управленческих решений, что в полной мере соответствует как международным тенденциям, так и национальным приоритетам. Концептуально она близка к зарубежным подходам, применяемым, например, в портах Роттердама (Нидерланды), Дуйсбурга (Германия), Чунцина (Китай), где реализуются проекты с высокой степенью цифровизации, автоматизации и устойчивости. В то же время, следует отметить, что прямой перенос этих моделей в российский контекст невозможен без учёта специфики: сезонности судоходства, огромной протяжённости ВВП, климатических условий и различий в уровне цифровой зрелости регионов.

Отдельного внимания заслуживает институциональный аспект: несмотря на наличие стратегических ориентиров (Указ № 309, Транспортная стратегия, нацпроекты) [1], в нормативно-правовой базе отсутствуют чёткие методические

установки и стандарты на интеллектуальные логистические объекты, особенно на водном транспорте. Это затрудняет реализацию конкретных инвестиционных проектов и не позволяет выстроить прозрачные критерии оценки эффективности вложений в цифровизацию речных портов.

Вместе с тем, очевидна и позитивная динамика – развитие федеральных программ, таких как «Развитие инфраструктуры опорной сети ВВП», а также рост интереса со стороны частных операторов к созданию мультимодальных речных терминалов. При соответствующей координации усилий государства и бизнеса, возможно формирование пилотных проектов интеллектуальных логистических центров уже в среднесрочной перспективе (до 2030 года) [2].

Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о высокой прикладной значимости предложенной модели и её соответствии как текущему состоянию отрасли, так и вектору национальной транспортной стратегии. Ключевым вызовом остаётся организационно-технологическая консолидация участников процесса модернизации – государства, бизнеса, научного и инженерного сообщества.

Заключение

В ходе проведённого исследования проанализирована эволюция логистических узлов на внутренних водных путях России, выявлены текущие ограничения их развития и предложена концептуальная модель их трансформации в интеллектуальные транспортные центры. Работа подтвердила исходную гипотезу о необходимости перехода от традиционной транзитной функции речных портов к высокотехнологичному и цифрово управляемому логистическому формату, соответствующему вызовам современной экономики и государственной стратегии.

- Основные выводы:
- Внутренние водные пути обладают высоким логистическим потенциалом, который в настоящее время используется лишь частично из-за технологической отсталости и инфраструктурных ограничений.
- Подавляющее большинство логистических узлов на ВВП находятся на I–II уровнях развития, с ограниченными возможностями цифрового управления и мультимодального взаимодействия.
- Предложена трёхуровневая классификация логистических узлов и обоснована модель интеллектуального логистического центра, включающая цифровую платформу, ИИ-аналитику, систему интеграции с другими видами транспорта, экологический модуль и цифровой двойник.
- Разработанная модель соответствует ключевым положениям Указа Президента РФ № 309, Транспортной стратегии РФ до 2030 года, а также задачам национального проекта «Эффективная транспортная система», и может быть использована в проектировании модернизации речной инфраструктуры.
- Ключевыми барьерами остаются: отсутствие нормативной базы, низкий уровень цифровой зрелости субъектов управления, нехватка инвестиций и региональная фрагментация транспортной политики.

На основе проведённого исследования можно сформулировать ряд практических рекомендаций, направленных на поэтапную реализацию концепции интеллектуального логистического центра на внутренних водных путях (ВВП) России. В качестве одного из приоритетных шагов необходимо разработать и утвердить нормативно-методический стандарт, регламентирующий структуру, функционал и технические характеристики «умного логистического узла» применительно к условиям речной инфраструктуры. Это обеспечит единообразие подходов к проектированию, оценке и эксплуатации таких объектов на всей территории страны.

Одновременно с этим целесообразно инициировать создание пилотных проектов интеллектуальных портов на базе наиболее перспективных речных узлов — таких как порты Нижнего Новгорода, Самары, Ростова-на-Дону. Реализация таких проектов в формате государственно-частного партнёрства позволит протестировать ключевые элементы цифровой и автоматизированной логистики, сформировать инвестиционные модели, а также оценить эффективность и масштабируемость подхода.

Для обеспечения системности и синхронности внедрения цифровых решений в речной логистике требуется интеграция информационных платформ речных портов в Единую цифровую платформу Транспортного комплекса Российской Федерации. Это позволит обеспечить сквозную прослеживаемость логистических операций, повысить прозрачность взаимодействия между участниками цепи поставок и усилить управляемость транспортными потоками на межрегиональном уровне.

Особое внимание следует уделить созданию финансовых стимулов, способствующих цифровизации отрасли. Разработка механизма субсидирования автоматизации речных портов за счёт национальных программ, а также выпуск целевых инфраструктурных облигаций может стать основой для привлечения долгосрочных инвестиций в модернизацию ВВП.

Вектор дальнейших научных исследований должен быть направлен на формирование технологической базы интеллектуальных логистических центров. В частности, перспективным направлением является разработка цифровых двойников речных портов для имитационного моделирования логистических процессов, оценки узких мест и прогнозирования сценариев развития. Также актуальным становится внедрение искусственного интеллекта и машинного обучения в процессы управления грузопотоками, а также в аналитические модули прогнозирования логистической нагрузки.

Одновременно необходимо проводить комплексную оценку экологического следа речных логистических узлов и разрабатывать инженерные решения, направленные на превращение таких объектов в так называемые «зелёные хабы», соответствующие принципам устойчивой логистики. Завершает данный вектор формирование региональных логистических кластеров с опорой на модернизированные узлы ВВП, которые смогут стать интеграционными точками в рамках Евразийских транспортных коридоров и повысить международную логистическую привлекательность России.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://pravo.gov.ru> (дата обращения: 15.04.2025).
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года» // КонсультантПлюс. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 15.04.2025)
3. Национальный проект «Эффективная транспортная система». – Минтранс России. – URL: https://mintrans.gov.ru/activity/programs/efficient_transport (дата обращения: 15.04.2025)
4. Новосельцев А.Б. Внутренние водные пути России в системе международных транспортных коридоров: дис. ... канд. экон. наук. – М.: РУТ (МИИТ), 2019. – 186 с.
5. Гладков Г.Л. Внутренние водные пути России: современное состояние и перспективы развития // *Transport Problems*. – 2016. – Т. 11, № 2. – С. 45–56.
6. Козлов А.С., Шепелин Г.И. Процесс интеллектуализации водного транспорта // *Актуальные проблемы научных исследований: экономика, управление, право*. – 2021. – № 3. – С. 75–82.
7. Квитко К.Б. Структурно-логическая модель транспортного кластера // *Инновации и инвестиции*. – 2022. – № 12. – С. 64–70.

8. Klar R., Fredriksson A., Angelakis V. Digital Twins for Ports: Derived from Smart City and Supply Chain Twinning Experience [Электронный ресурс] // ResearchGate. – 2023. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/372386998> (дата обращения: 16.04.2025).
9. Wu Z., Ren C., Wu X., Yang X., Li Z. Research on Digital Twin Construction and Safety Management Application of Inland Waterway Based on 3D Video Fusion [Электронный ресурс] // ResearchGate. – 2021. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/353593345> (дата обращения: 16.04.2025).
10. Danube Ports Network. Danube Port Digitisation – Strategy & Action Plan [Электронный ресурс]. – Vienna: DPN, 2021. – 52 p. – URL: https://www.danubeports.eu/images/O.T2.3_Danube_Port_Digitisation_-_Strategy_Action_Plan_final.pdf (дата обращения: 16.04.2025).
11. Danube Commission. Green Inland Ports: Introduction to the Project [Электронный ресурс] // Danube Commission. – 2023. – URL: https://www.danubecommission.org/uploads/doc/2023/EM_PORTS/2.2.1_Green_inland_ports_presentation_introduction_to_the_project.pdf (дата обращения: 16.04.2025).
12. ETP-Logistics. Advancing Inland Waterways with Digital Twins: CRISTAL Project and MultiRELOAD Demonstrator [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.etp-logistics.eu/advancing-inland-waterways-with-digital-twins-exploring-cristal-project-innovations-and-multireload-project-demonstrator/> (дата обращения: 16.04.2025).
13. Guerrieri A., Stefanini L., Paltrinieri N., Cozzani V. Inland waterway transport and the 2030 Agenda: Challenges and opportunities [Электронный ресурс] // Journal of Waterway Transport. – 2022. – Vol. 4, Issue 3. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790822000672> (дата обращения: 16.04.2025).
14. Кузьмичев И. К., Чеботарев С. С., Морозов О. Л. Направления деятельности ПАО «Завод «Красное Сормово» в обеспечении логистики на водном транспорте в России // Научные проблемы водного транспорта. – 2024. – № 80. – С. 112–121.
15. Судостроение и судоходство: перспективы развития внутреннего водного транспорта в России [Электронный ресурс] // Морской инженерный портал. – 2024. – URL: <https://marine.org.ru/events/sudostroenie/16855/> (дата обращения: 17.04.2025)
16. Только половина судоходных ГТС в России находится в работоспособном состоянии [Электронный ресурс] // Корабел.ру. – 2025. – URL: https://www.korabel.ru/news/comments/tolko_polovina_sudohodnyh_gts_v_rossii_nahoditsya_v_rabotosposobnom_sostoyanii.html (дата обращения: 18.04.2025).
17. Чеботарев С. С., Юсупов Р. М., Бондарь И. В. Основные направления применения инноватики при оптимизации логистических процессов на водном транспорте // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2024. – Т. 14, № 5-1. – С. 387–396.
18. Пропускная способность ВВП России за последние годы выросла почти на 13 млн тонн [Электронный ресурс] // Корабел.ру. – 2025. – URL: https://www.korabel.ru/news/comments/propusknaya_sposobnost_vvp_rossii_za_poslednie_god_u_yyroslo_pochti_na_13 mln_tonn.html (дата обращения: 18.04.2025).
19. Чеботарев В. С., Бондарь И. В., Богатырев А. В., Почекаева О. В. Интеграция цифровых платформ в экосистему морских и речных портов // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2024. – Т. 14, № 7-1. – С. 309–321.
20. Предусмотрена интеграция внутреннего водного транспорта с железнодорожным и автомобильным – Роман Старовойт [Электронный ресурс] // Корабел.ру. – 2025. – URL: https://www.korabel.ru/news/comments/predusmotrena_integraciya_vnutrennego_vodnogo_transporta_s_zheleznodorozhnym_i_avtomobilnym_-_roman_starovoyt.html (дата обращения: 18.04.2025).
21. Скобелева И.П., Бунакова Е.В. Особенности функционирования и развития компаний водного транспорта России, определяющие их инвестиционную привлекательность // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2013. – № 3(22). – С. 118–125.
22. World Bank. Accelerating Digitalization Across the Maritime Supply Chain [Электронный ресурс]. – Washington, D.C.: World Bank, 2021. – URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/transport/publication/accelerating-digitalization-across-the-maritime-supply-chain> (дата обращения: 18.04.2025).

References

1. President of the Russian Federation. Decree of May 7, 2024, No. 309 "On the National Development Goals of the Russian Federation for the period until 2030 and for the future until 2036" [Electronic resource] // Official Internet Portal of Legal Information. – URL: <http://pravo.gov.ru> (accessed: 15.04.2025).
2. Government of the Russian Federation. Order of November 27, 2021, No. 3363-r "On the Approval of the Transport Strategy of the Russian Federation for the period until 2030 with a forecast until 2035" [Electronic resource] // ConsultantPlus. – URL: <http://www.consultant.ru> (accessed: 15.04.2025).
3. National Project "Efficient Transport System" [Electronic resource] // Ministry of Transport of the Russian Federation. – URL: https://mintrans.gov.ru/activity/programs/efficient_transport (accessed: 15.04.2025).
4. Novoseltsev A.B. Inland Waterways of Russia in the System of International Transport Corridors: Cand. Econ. Sci. Diss. – Moscow: RUT (MIIT), 2019. – 186 p.
5. Gladkov G.L. Inland Waterways of Russia: Current State and Development Prospects // Transport Problems. – 2016. – Vol. 11, No. 2. – P. 45–56.
6. Kozlov A.S., Shepelin G.I. The Process of Intellectualization of Water Transport // Actual Problems of Scientific Research: Economics, Management, Law. – 2021. – No. 3. – P. 75–82.
7. Kvitko K.B. Structural and Logical Model of a Transport Cluster // Innovations and Investments. – 2022. – No. 12. – P. 64–70.
8. Klar R., Fredriksson A., Angelakis V. Digital Twins for Ports: Derived from Smart City and Supply Chain Twinning Experience [Electronic resource] // ResearchGate. – 2023. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/372386998> (accessed: 16.04.2025).
9. Wu Z., Ren C., Wu X., Yang X., Li Z. Research on Digital Twin Construction and Safety Management Application of Inland Waterway Based on 3D Video Fusion [Electronic resource] // ResearchGate. – 2021. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/353593345> (accessed: 16.04.2025).
10. Danube Ports Network. Danube Port Digitisation – Strategy & Action Plan [Electronic resource]. – Vienna: DPN, 2021. – 52 p. – URL: https://www.danubeports.eu/images/O.T2.3_Danube_Port_Digitisation_-_Strategy_Action_Plan_final.pdf (accessed: 16.04.2025).
11. Danube Commission. Green Inland Ports: Introduction to the Project [Electronic resource] // Danube Commission. – 2023. – URL: https://www.danubecommission.org/uploads/doc/2023/EM_PORTS/2.2.1_Green_inland_ports_presentation_introduction_to_the_project.pdf (accessed: 16.04.2025).
12. ETP-Logistics. Advancing Inland Waterways with Digital Twins: CRISTAL Project and MultiRELOAD Demonstrator [Electronic resource]. – URL: <https://www.etp-logistics.eu/advancing-inland-waterways-with-digital-twins-exploring-cristal-project-innovations-and-multireload-project-demonstrator/> (accessed: 16.04.2025).
13. Guerrieri A., Stefanini L., Paltrinieri N., Cozzani V. Inland Waterway Transport and the 2030 Agenda: Challenges and Opportunities [Electronic resource] // Journal of Waterway Transport. – 2022. – Vol. 4, Issue 3. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790822000672> (accessed: 16.04.2025).
14. Kuzmichev I.K., Chebotarev S.S., Morozov O.L. Activities of PJSC "Krasnoe Sormovo Plant" in Ensuring Logistics on Water Transport in Russia // Scientific Problems of Water Transport. – 2024. – No. 80. – P. 112–121.
15. Shipbuilding and Navigation: Prospects for the Development of Inland Water Transport in Russia [Electronic resource] // Marine Engineering Portal. – 2024. – URL: <https://marine.org.ru/events/sudostroenie/16855/> (accessed: 17.04.2025).
16. Only Half of the Navigable Hydraulic Structures in Russia Are in Working Condition [Electronic resource] // Korabel.ru. – 2025. – URL: https://www.korabel.ru/news/comments/tolko_polovina_sudohodnyh_gts_v_rossii_nahoditsya_v_rabotosposobnom_sostoyanii.html (accessed: 18.04.2025).
17. Chebotarev S.S., Yusupov R.M., Bondar I.V. Key Directions of Innovation Application in Optimization of Logistics Processes on Water Transport // Economy: Yesterday, Today, Tomorrow. – 2024. – Vol. 14, No. 5-1. – P. 387–396.
18. The Capacity of Russia's Inland Waterways Has Increased by Nearly 13 Million Tons in Recent Years [Electronic resource] // Korabel.ru. – 2025. – URL:

- https://www.korabel.ru/news/comments/propusknaya_sposobnost_vvp_rossii_za_poslednie_god_y_vyroslo_pochti_na_13 mln_tonn.html (accessed: 18.04.2025).
19. Chebotarev V.S., Bondar I.V., Bogatyrev A.V., Pochekaeva O.V. Integration of Digital Platforms into the Ecosystem of Sea and River Ports // *Economy: Yesterday, Today, Tomorrow*. – 2024. – Vol. 14, No. 7-1. – P. 309–321.
 20. Integration of Inland Water Transport with Rail and Road Transport Is Provided – Roman Starovoyt [Electronic resource] // *Korabel.ru*. – 2025. – URL: https://www.korabel.ru/news/comments/predusmotrena_integraciya_vnutrennego_vodnogo_transporta_s_zheleznodorozhnym_i_avtomobilnym_-_roman_starovoyt.html (accessed: 18.04.2025).
 21. Skobeleva I.P., Bunakova E.V. Features of the Functioning and Development of Russian Water Transport Companies Determining Their Investment Attractiveness // *Bulletin of the Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping*. – 2013. – No. 3(22). – P. 118–125.
 22. World Bank. Accelerating Digitalization Across the Maritime Supply Chain [Electronic resource]. – Washington, D.C.: World Bank, 2021. – URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/transport/publication/accelerating-digitalization-across-the-maritime-supply-chain> (accessed: 18.04.2025).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кузьмичев Игорь Константинович, доктор технических наук, профессор, ректор, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: rector@vsuwt.ru

Igor K. Kuzmichev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector, Volga State University of Water Transport, Nesterova, 5, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: rector@vsuwt.ru

Чеботарев Станислав Стефанович, доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: StSt57@yandex.ru

Stanislav S. Chebotarev, Doctor of Economics, Professor, Chief Researcher of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail: StSt57@yandex.ru

Бондарь Илья Владимирович, кандидат юридических наук, доцент кафедры гражданского права, Военный университет имени князя Александра Невского Министерства обороны Российской Федерации, 123001, Москва, ул. Б. Садовая, 14, e-mail: ilya.vl.bondar@gmail.com

Ilya V. Bondar, PhD in Law, Associate Professor of the Department of Civil Law, Prince Alexander Nevsky Military University of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 14 B. Sadovaya St., Moscow, 123001, e-mail: ilya.vl.bondar@gmail.com

Статья поступила в редакцию 21.04.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 21.04.2025; published online 20.06.2025.

УДК 656.029.4

DOI:10.37890/jwt.vi83.601

Железнодорожные транспортные коридоры как альтернатива и дополнение водным маршрутам в международной логистике

А.А. Подхлебный

ORCID: 0009-0004-3264-2718

Ж.К. Кегенбеков

ORCID: 0000-0001-8175-7440

Э. Ш. Еменова

ORCID: 0009-0009-8671-4410

Казахстанско-Немецкий Университет, г. Алматы, Казахстан

Аннотация. Железнодорожные транспортные коридоры играют ключевую роль в международной торговле, соединяя страны и континенты. В статье проведён анализ значимости этих маршрутов, их влияния на экономику и логистику, а также рассмотрены ключевые проблемы и перспективы развития. Особое внимание уделено Транскаспийскому международному транспортному маршруту (ТМТМ), Северному коридору и Новому шёлковому пути. Особое внимание уделяется их взаимодействию с водным транспортом, потенциалу замещения традиционных морских маршрутов, таких как Суэцкий канал, а также преимуществам железнодорожных перевозок в условиях геополитической и климатической нестабильности. Исследованы их преимущества, инфраструктурные ограничения и влияние геополитических факторов. Также изучены статистические показатели роста грузоперевозок, выявлены основные барьеры, включая административные, тарифные и инфраструктурные ограничения. Рассмотрены перспективы развития, включая модернизацию железнодорожной сети, цифровизацию логистики и внедрение экологически устойчивых технологий. Основное внимание уделено преимуществам железнодорожных перевозок, таким как высокая грузоподъемность, надежность, безопасность, экономичность и устойчивость к погодным условиям, что делает железнодорожный транспорт важным элементом международной логистики. Также подчеркивается роль железнодорожных коридоров в улучшении транзитного потенциала Казахстана, сделан вывод о важности интеграции международных усилий для повышения эффективности железнодорожных перевозок и их конкурентоспособности на глобальном рынке.

Ключевые слова: Железнодорожные коридоры, международная торговля, логистика, экономика, инфраструктура, транспортные маршруты, экономическое развитие, модернизация инфраструктуры.

Railway transport corridors as an alternative and complement to water routes in international logistics

Andrey A. Podkhlebnyy

ORCID: 0009-0004-3264-2718

Zhandos K. Kegenbekov

ORCID: 0000-0001-8175-7440

Elina S. Emenova

ORCID: 0009-0009-8671-4410

Kazakh German University, Almaty, Kazakhstan

Abstract. Railway transport corridors play a key role in international trade, connecting countries and continents. The article analyzes the importance of these routes, their impact on the economy and logistics, as well as key problems and development prospects. Special attention is paid to the Trans-Caspian International Transport Route (TMTM), the Northern

Corridor and the New Silk Road. Special attention is paid to their interaction with water transport, the potential for replacing traditional sea routes such as the Suez Canal, as well as the advantages of rail transportation in conditions of geopolitical and climatic instability. Their advantages, infrastructural limitations and the influence of geopolitical factors are investigated. The statistical indicators of freight transportation growth were also studied, and the main barriers, including administrative, tariff, and infrastructural restrictions, were identified. The prospects for development, including the modernization of the railway network, digitalization of logistics and the introduction of environmentally sustainable technologies, are considered. The main focus is on the advantages of rail transportation, such as high load capacity, reliability, safety, cost-effectiveness and weather resistance, which makes rail transport an important element of international logistics. The role of railway corridors in improving Kazakhstan's transit potential is also emphasized, and it is concluded that it is important to integrate international efforts to improve the efficiency of rail transport and its competitiveness in the global market.

Keywords: Railway corridors, international trade, logistics, economy, infrastructure, transport routes, economic development, infrastructure modernization.

Введение

В условиях глобализации и роста объёмов международной торговли железнодорожные транспортные коридоры приобретают стратегическое значение как надёжная альтернатива традиционным водным маршрутам, включая морские пути через Суэцкий канал. Благодаря высокой скорости, экологичности и предсказуемости, железнодорожные перевозки становятся всё более востребованными как самостоятельное логистическое решение, так и в составе мультимодальных схем, совмещающих железнодорожный и водный транспорт. Казахстан, обладая выгодным транзитным положением между Европой и Азией, играет ключевую роль в обеспечении таких связующих маршрутов, способствуя диверсификации глобальных логистических потоков. Железнодорожные перевозки выгодны благодаря экономичности, высокой грузоподъемности, надёжности и безопасности. Они менее подвержены погодным условиям, экологичны и позволяют перевозить большие объёмы грузов на дальние расстояния. Поезда следуют четкому расписанию, обеспечивая стабильность логистики, а для пассажиров предлагают комфортные условия. Кроме того, железнодорожный транспорт играет ключевую роль в международных перевозках, легко комбинируясь с другими видами транспорта. Международный железнодорожный коридор даёт стране значительные экономические преимущества. Он снижает транспортные расходы, ускоряет доставку грузов и повышает конкурентоспособность национального экспорта. Улучшение логистической инфраструктуры привлекает инвестиции, стимулирует развитие промышленности и создаёт новые рабочие места. Развитие транзитного потенциала приносит дополнительные доходы от перевозок, укрепляя экономику. Кроме того, железнодорожные перевозки снижают нагрузку на автодороги, уменьшая расходы на их содержание, и способствуют экологически устойчивому развитию. В данной статье рассматриваются ключевые аспекты функционирования этих коридоров, проблемы, с которыми сталкиваются участники рынка, и перспективы их развития. В статье «Международные транспортные коридоры и их влияние на экономику»[1] рассматривается значимость транспортных коридоров для мировой экономики. Шарова И. В. и Голова Д. В. подчеркивают, что эффективное функционирование международных транспортных коридоров стимулирует экономический рост, облегчает движение товаров и капитала, а также способствует интеграции стран в глобальную торговлю. Особое внимание уделяется влиянию транспортных коридоров на торговые связи между государствами, а также их роли в повышении конкурентоспособности национальных экономик.

Материалы и методы

Железнодорожные транспортные коридоры представляют собой сети, объединяющие страны и континенты, обеспечивая доставку товаров между Европой, Азией и другими регионами. В статье «Международные транспортные коридоры как фактор формирования евразийского партнерства» [2] автор подчеркивает, что «развитие международных транспортных коридоров является одним из ключевых инструментов по развитию торговли, экономического сотрудничества между странами, а также стимулом для укрепления региональной экономической интеграции». Они играют ключевую роль в международной торговле, способствуя развитию экономик транзитных и экспортно-ориентированных стран. Среди наиболее значимых маршрутов можно выделить:

- **Транскаспийский международный транспортный маршрут (ТМТМ)** — соединяет Китай с Европой через Казахстан, Каспийское море, Азербайджан, Грузию и Турцию. Этот маршрут является альтернативой традиционному Северному коридору и сокращает время доставки грузов. Он способствует расширению транспортных потоков, снижению зависимости от одного маршрута и укреплению экономических связей между странами Центральной Азии и Европы;

- **Северный коридор** — проходит через Россию, являясь одной из важнейших артерий между Европой и Азией. Этот маршрут позволяет транспортировать большие объемы грузов благодаря развитой инфраструктуре и стабильным связям между странами-участницами [3]. Он играет важную роль в обеспечении торговых отношений между Евразийским экономическим союзом (ЕАЭС) и Европейским союзом (ЕС), а также снижает нагрузку на морские пути;

- **Новый шелковый путь** — инициатива Китая, включающая железнодорожные и мультимодальные маршруты для оптимизации логистики между Китаем и Европой. Данный проект позволяет диверсифицировать торговые потоки и создать альтернативные транспортные маршруты, способствуя увеличению товарооборота между Востоком и Западом. Этот маршрут дает возможность экспортерам сокращать издержки и ускорять поставки;

- **Южный транспортный коридор** — соединяет Иран, Индию, Россию и страны Центральной Азии, обеспечивая альтернативный маршрут для грузов между Азией и Европой. Он позволяет развивать торговлю между странами Персидского залива и Евразийским регионом, открывая новые экспортные и импортные возможности;

- **Западный маршрут международного транспортного коридора (ЗМТК)** — соединяет Китай, Казахстан и страны Европейского союза, представляя собой альтернативу морским перевозкам. Этот маршрут играет важную роль в обеспечении бесперебойных поставок товаров между Китаем и Европой, особенно в условиях возможных задержек морских перевозок.

Маршрут позволяет странам Центральной Азии активнее участвовать в международной торговле. Сокращает время доставки грузов между Китаем и Европой по сравнению с морским путем через Суэцкий канал, обеспечивая среднее время в пути около 12-15 дней. Он также снижает транспортные риски, так как не проходит через регионы с высокой пиратской активностью, а его гибкость в использовании различных видов транспорта делает его удобным для различных типов грузов. Однако маршрут сталкивается с инфраструктурными ограничениями, так как пересечение Каспийского моря требует развитой портовой инфраструктуры. Также отсутствует прозрачность тарифов, что усложняет расчет стоимости перевозок. Различия в таможенных процедурах и погодные условия могут увеличить время доставки. Казахстан, находясь в центре Евразии, получает экономическую выгоду от роста грузопотока по этому маршруту. Транзитные перевозки приносят стране дополнительные доходы и способствуют развитию транспортной инфраструктуры. Также выгодно развивать ТМТМ, чтобы не зависеть исключительно от Северного

коридора, который проходит через Россию. Это снижает риски, связанные с политической ситуацией и ограничениями на транзит.

Транскаспийский международный транспортный маршрут (ТМТМ) показан на рисунке(1) предоставляет альтернативу традиционным маршрутам через Россию, что особенно актуально в условиях геополитической нестабильности.



Рис. 1. Транскаспийский международный транспортный маршрут

Транскаспийский маршрут демонстрирует значительный рост объемов грузоперевозок за последние годы. Показатели роста отображены на рисунке 2.



Рис. 2. График роста грузооборота по ТМТМ [4]
Составлено на основе источника [4]

В 2022 году объем грузоперевозок по ТМТМ увеличился в 2,5 раза по сравнению с предыдущим годом, достигнув 1,48 млн тонн. Контейнерные перевозки в том же году выросли на 33%, составив 33,6 тыс. ДФЭ - двадцатифутовый эквивалент, стандартная единица измерения объема контейнерных перевозок. За 11 месяцев 2024 года объем перевозок грузов увеличился на 63%, достигнув 4,1 млн тонн, а контейнерные перевозки выросли в 2,6 раза, составив 50,5 тыс. ДФЭ (Рис.3)



Рис. 3. Показатели роста объема контейнерных перевозок.
Составлено на основе источника [4]

Снижение объема контейнерных перевозок по Транскаспийскому международному транспортному маршруту (ТМТМ) в 2023 году на 39% по сравнению с 2022 годом связано с несколькими факторами:

- **Административные барьеры и недостаточная координация:** В 2023 году возникли проблемы с пересечением границ, перевалкой и координацией между участниками маршрута, что привело к значительным задержкам в перевозках и снижению объемов контейнерных перевозок на 37% за первые восемь месяцев 2023 года по сравнению с аналогичным периодом 2022 года;

- **Инфраструктурные ограничения:** Резкий рост объемов перевозок в 2022 году выявил ограничения инфраструктуры ТМТМ, включая недостаточную пропускную способность портов и железнодорожных сетей, что затруднило обработку увеличившегося потока грузов;

- **Проблемы в цифровизации и таможенные процедуры:** Отсутствие эффективной цифровизации операций и сложные таможенные процедуры привели к дополнительным задержкам и снижению привлекательности маршрута для грузоотправителей.

Несмотря на эти трудности, в 2024 году были предприняты меры по улучшению ситуации, включая создание казахстанско-китайского терминала в Сиане, что способствовало значительному увеличению объемов контейнерных перевозок по ТМТМ. Эти данные свидетельствуют о стабильном росте и развитии ТМТМ, что подчеркивает его важность для международной торговли и логистики.

Северный коридор обладает развитой железнодорожной сетью и устоявшимися логистическими цепочками, обеспечивая надежность перевозок. Благодаря долгосрочным межправительственным соглашениям транспортные расходы остаются фиксированными и предсказуемыми. В отличие от морских маршрутов, он функционирует круглогодично и не зависит от сезонных колебаний. Однако маршрут подвержен геополитическим рискам, проходя через территории с потенциальной политической нестабильностью, что может повлиять на стабильность перевозок. В некоторых случаях время доставки может быть больше по сравнению с альтернативными маршрутами, а суровые климатические условия, особенно в Сибири, могут повлиять на эксплуатационные характеристики подвижного состава.

Новый шелковый путь обеспечивает прямое соединение между производственными центрами Китая и потребительскими рынками Европы, показан на рисунке 4. По сравнению с морскими перевозками, время доставки сокращается до

15 дней, а транзитные страны, такие как Казахстан, Россия и Беларусь, получают выгоду от развития логистической инфраструктуры.



Рис. 4. Новый шелковый путь

Однако высокая стоимость железнодорожных перевозок делает этот маршрут менее конкурентоспособным по сравнению с морскими [5]. Кроме того, различия в железнодорожных стандартах между странами требуют дополнительных операций по перегрузке и замене колесных пар. Конкуренция с более дешевыми морскими перевозками также ограничивает его привлекательность для массовых грузопотоков. **Проблемой для реализации потенциала данного коридора также является нестабильная геополитическая ситуация, которая приводит к снижению привлекательности сухопутного коридора**

Южный транспортный коридор обеспечивает странам Центральной Азии и России выход к портам Индийского океана, что сокращает расстояние перевозки и может снизить время доставки. Маршрут отличается гибкостью, позволяя использовать различные варианты соединения через Иран, Пакистан и Индию. Однако его развитие сталкивается с инфраструктурными проблемами, так как некоторые регионы требуют значительных инвестиций для обеспечения беспрепятственного движения грузов [6]. Политическая нестабильность в отдельных странах также может повлиять на безопасность и надежность перевозок, а сложные таможенные процедуры и высокие тарифы усложняют транзит грузов.

Результаты и обсуждение

Таким образом, каждый из представленных транспортных коридоров имеет свои сильные и слабые стороны, имея при этом рост в объемах перевозок. Диаграмма на рисунке 5 сравнивает объемы грузоперевозок по основным железнодорожным коридорам в 2023 и 2024 годах, отражая их роль в международной торговле. Северный коридор остается крупнейшим маршрутом, стабильно увеличивая объемы перевозок, несмотря на геополитические вызовы. Транскаспийский международный транспортный маршрут (ТМТМ) показывает самый стремительный рост, так как развивается как альтернатива Северному коридору и получает значительные инвестиции. Международный транспортный коридор "Север-Юг" официально запущенный в 2002 году, был создан для сокращения маршрута перевозок из России, государств Восточной Балтии и СНГ в направлении Ирана, Индии и стран Персидского залива, предлагая более быструю альтернативу морскому пути через Суэцкий канал [7]

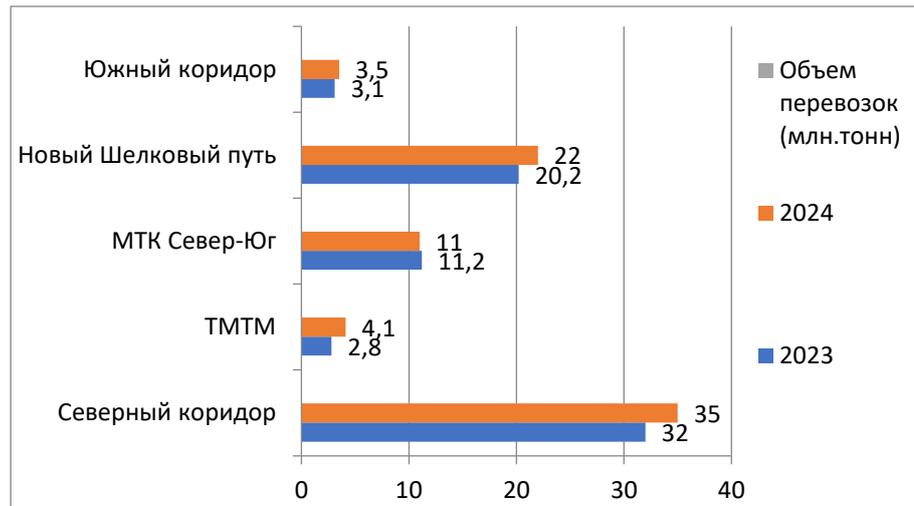


Рис. 5. Сравнение объемов перевозок по железнодорожным коридорам за 2023-2024г. Составлено на основе источника [8]

МТК Север-Юг сохраняет стабильные объемы, но его дальнейшее развитие зависит от модернизации инфраструктуры. Новый Шелковый путь также продолжает наращивать грузопотоки, но сталкивается с бюрократическими и логистическими проблемами. Южный транспортный коридор остается наименее загруженным, однако имеет перспективы для расширения торговли между Азией, Ближним Востоком и Европой. Выбор маршрута зависит от множества факторов, включая стоимость, сроки доставки, надежность инфраструктуры и геополитическую ситуацию.

Несмотря на очевидные преимущества железнодорожного транспорта, существуют значительные препятствия, влияющие на его эффективность:

- Инфраструктурные ограничения — разница в ширине железнодорожной колеи между странами, устаревшие сети, нехватка терминалов и перегрузочных узлов. Современные проекты модернизации направлены на устранение этих недостатков, однако процесс требует значительных финансовых вложений;
- Политические и геополитические риски — торговые конфликты, санкции, нестабильность в отдельных регионах могут оказывать существенное влияние на маршруты и стоимость перевозок. Например, изменения в политике транзитных государств могут привести к изменению транспортных потоков;
- Тарифная и административная нагрузка — различия в таможенных процедурах, отсутствие единых тарифных ставок и сложные логистические схемы могут замедлять транспортировку грузов. Внедрение цифровых технологий и международных соглашений способствует решению этих проблем;
- Конкуренция с другими видами транспорта — морские и автомобильные перевозки могут оказывать давление на железнодорожную логистику, особенно с учетом их гибкости и низких затрат. Однако железнодорожные маршруты становятся все более привлекательными благодаря сокращению сроков доставки и улучшению сервисов.
- Недостаточная цифровизация — отсутствие единой информационной системы для контроля грузопотоков между странами затрудняет логистику;
- Экологические вызовы — хотя железнодорожный транспорт экологичнее автомобильного, его инфраструктура требует значительных ресурсов и энергоемкого производства.

- Для повышения конкурентоспособности железнодорожных маршрутов необходимы комплексные меры:
- Модернизация инфраструктуры — инвестиции в новые терминалы, расширение пропускной способности путей, унификация железнодорожных стандартов между странами;
- Оптимизация таможенных и административных процедур — создание единого цифрового пространства, внедрение электронных систем контроля и документооборота, что снизит задержки, и повысит прозрачность транспортных процессов;
- Гибридные логистические схемы — развитие мультимодальных перевозок с сочетанием железнодорожного, морского и автомобильного транспорта позволит повысить гибкость логистических решений;
- Развитие международного сотрудничества — усиление координации между странами, заключение новых соглашений и партнерств для повышения эффективности работы коридоров. Важно учитывать влияние экономических интеграционных объединений, таких как Евразийский экономический союз (ЕАЭС) и Европейский союз (ЕС), на развитие транспортных маршрутов;
- Внедрение цифровых технологий — автоматизированные системы управления логистикой, электронные системы мониторинга грузов и использование искусственного интеллекта помогут оптимизировать маршруты и снизить затраты;
- Устойчивое развитие — внедрение технологий снижения выбросов, переход на электрическую тягу и водородные двигатели, использование возобновляемых источников энергии на терминалах и станциях.

Заключение

Таким образом, железнодорожные транспортные коридоры выступают не только как самостоятельный вид перевозок, но и как эффективное дополнение к водному транспорту в рамках мульти-модальных маршрутов. Их развитие позволяет диверсифицировать логистические цепочки, повысить устойчивость международной торговли к внешним рискам, сократить время доставки и снизить углеродный след. В будущем интеграция железнодорожной и водной инфраструктуры, особенно в рамках развития «зелёных» и цифровых логистических коридоров, может обеспечить сбалансированное и экологически ориентированное транспортное пространство Евразии. Для Казахстана это открывает возможности усиления роли в глобальной логистике, привлечения инвестиций и укрепления экспортного потенциала.

Особое внимание стоит уделить подготовке кадров, для чего необходимо развивать образовательные инициативы, включая стажировки и грантовые программы для студентов. Такой подход будет способствовать не только решению кадрового дефицита, но и обеспечит устойчивое развитие железнодорожной логистики на долгосрочную перспективу. Кроме того, стоит подчеркнуть значимость экологических инициатив. Продолжение разработки и внедрения экологически чистых технологий в железнодорожном секторе, таких как гибридные и электрические локомотивы, снизит углеродные выбросы и поможет Казахстану соответствовать международным экологическим стандартам. Программы, направленные на развитие «зелёных» технологий, играют важную роль в повышении конкурентоспособности страны как экологически ответственного государства. Железнодорожный транспорт является одним из самых экологически чистых видов транспорта. По сравнению с автомобильными и авиационными перевозками он выделяет значительно меньше углекислого газа, что делает его ключевым элементом в стратегии устойчивого развития.

- Внедрение гибридных и электрических локомотивов, что позволит значительно снизить выбросы углекислого газа;
- Развитие инфраструктуры на альтернативных источниках энергии;
- Внедрение «зеленых коридоров» с минимизацией воздействия на окружающую среду позволит привлечь дополнительные инвестиции в данный сектор;
- Развитие возобновляемых источников энергии на станциях и терминалах поможет повысить экологическую устойчивость железнодорожной инфраструктуры.

Взаимодействие между государствами, интеграция новых технологий и цифровизация позволят железнодорожным коридорам занять еще более значимое место в мировой торговле. В будущем именно железнодорожные перевозки могут стать важной альтернативой морским и авиационным перевозкам, обеспечивая баланс между скоростью, стоимостью и экологичностью транспортных решений.

Список литературы

1. Шарова, И. В. Международные транспортные коридоры и их влияние на экономическое развитие государств / И. В. Шарова, Д. В. Голова // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. <https://1economic.ru/lib/117486>
2. Дешири М. Р. Международные транспортные коридоры как фактор формирования евразийского партнерства // Eurasia Today. – 2023. <https://eurasia.today/actual/mezhdunarodnye-transportnye-koridory-kak-faktor-formirovaniya-evraziyskogo-partnerstva/>
3. Малышева Д.Б. Международный транспортный коридор «Север–Юг/ Институт мировой экономики и международных отношений РАН (ИМЕМО). – Доступ: https://www.imemo.ru/files/File/magazines/rossia_i_novay/2021_02/11-Malysheva.pdf.
4. О развитии транспортных коридоров в Казахстане. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/kostanai-kostanai-audany-akimat/press/news/details/903997?lang=ru>
5. Абрамян В. Г. Новый Шелковый путь: политико-экономические аспекты и возможные пути развития / В. Г. Абрамян, В. В. Григорян, М. А. Саакян, Г. К. Мартиросян // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. Иваново, 2017. № 2 (50). С. 10–18. https://www.isuct.ru/e-publ/snt/sites/ru.e-publ.snt/files/2017/02/snt_2017_n02-010.pdf
6. Малышева Д.Б. Международный транспортный коридор «Север–Юг» и страны Центральной Азии // Ближний и постсоветский Восток. 2024. №4 (8). С. 7–21 https://inion.ru/site/assets/files/8798/middle_post-soviet_east_2024_4_8_01.pdf
7. Коллектив авторов. «Путь на Восток: развитие евразийских транспортных коридоров»// СФЕРА Нефть и Газ. – 2024. <https://сферанефтьгаз.рф/irem2-2024-1/>
8. Index1520. Транскаспийский международный транспортный маршрут: текущее состояние и перспективы развития. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: https://index1520.com/upload/medialibrary/7fa/69jwc2gbyzntilvwf4nv0b55g17uu3i6/ru310125_TMTM.pdf
9. Вардомский Л.Б., Тураева М.О. «Развитие транспортных коридоров постсоветского пространства в условиях современных геополитических и экономических вызовов». Научный доклад. Институт экономики РАН, 2018. https://inecon.org/docs/2018/Vardomsky_Turaeva_paper_20181204.pdf
10. Кочетков С. А. Железнодорожные транспортные коридоры: текущее состояние и перспективы развития // Вестник транспорта. — 2020. — № 5. — С. 34–42. <https://www.vavt-imef.ru/wp-content/uploads/2019/11/Доклад-ВАВТ-ЦЭИ.pdf>

References

1. Sharova, I. V. International transport corridors and their impact on the economic development of states / I. V. Sharova, D. V. Golova // Economics, entrepreneurship and Law. – 2023. <https://1economic.ru/lib/117486>

2. Deshiri M. R. International transport corridors as a factor in the formation of the Eurasian partnership // Eurasia Today. – 2023. <https://eurasia.today/actual/mezhdunarodnye-transportnye-koridory-kak-faktor-formirovaniya-evraziyskogo-partnerstva/>
3. Malysheva D.B. The North–South International Transport Corridor/ Institute of World Economy and International Relations of the Russian Academy of Sciences (IMEMO). – Access: https://www.imemo.ru/files/File/magazines/rossia_i_novay/2021_02/11-Malysheva.pdf
4. On the development of transport corridors in Kazakhstan. – 2024. – [Electronic resource]. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/kostanai-kostanai-audany-akimat/press/news/details/903997?lang=ru>
5. Abrahamyan V. G. The New Silk Road: political and economic aspects and possible ways of development / V. G. Abrahamyan, V. V. Grigoryan, M. A. Sahakyan, G. K. Martirosyan // Modern high-tech technologies. Regional application. Ivanovo, 2017. No. 2 (50). pp. 10-18. https://www.isuct.ru/e-publ/snt/sites/ru.e-publ.snt/files/2017/02/snt_2017_n02-010.pdf
6. Malysheva D.B. The international transport corridor "North–South" and the countries of Central Asia // The Middle and post-Soviet East. 2024. No. 4 (8). pp. 7-21 https://inion.ru/site/assets/files/8798/middle_post-soviet_east_2024_4_8_01.pdf
7. A team of authors. "The way to the East: the development of Eurasian transport corridors"// SPHERE of Oil and Gas. – 2024. <https://сферанефтьгаз.RF/ipem2-2024-1/>
8. Index1520. Trans-Caspian International Transport Route: current status and development prospects. – 2024. – [Electronic resource]. – URL: https://index1520.com/upload/medialibrary/7fa/69jwc2gbyzntilvwf4nv0b55g17uu3i6/ru310125_TMTM.pdf
9. Vardomsky L.B., Turayeva M.O. "Development of transport corridors of the post-Soviet space in the context of modern geopolitical and economic challenges." Scientific report. Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences, 2018. https://inecon.org/docs/2018/Vardomsky_Turaeva_paper_20181204.pdf
10. Kochetkov S. A. Railway transport corridors: current state and development prospects // Bulletin of Transport. - 2020. — No. 5. — pp. 34-42. <https://www.vavt-imef.ru/wp-content/uploads/2019/11/Доклад-BAВТ-ЦЭИ.pdf>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Подхлебный Андрей Андреевич, магистрант Казахстанско-Немецкого Университета, г. Алматы, ул. Пушкина 111, 050005, e-mail: podkhlebny@mail.ru

Andrey A. Podhlebny, Master's student at the Kazakh-German University, 111 Pushkin Street, Almaty, 050005, e-mail: podkhlebny@mail.ru

Кегенбеков Жандос Кадырханович, профессор кафедры инжиниринга и информационных технологий Казахстанско-Немецкого Университета, г. Алматы, ул. Пушкина 111, 050005, e-mail: kegenbekov@dku.kz

Zhandos K. Kegenbekov, Professor of the Department of Engineering and Information Technology of the Kazakh-German University, 111 Pushkin Street, Almaty, 050005, e-mail: kegenbekov@dku.kz

Еменова Элина Шугановна, магистрант Казахстанско-Немецкого Университета, г. Алматы, ул. Пушкина 111, 050005, e-mail: student.emenova@dku.kz

Elina S. Emenova, Master's student at the Kazakh-German University, 111 Pushkin Street, Almaty, 050005, e-mail: student.emenova@dku.kz

Статья поступила в редакцию 19.02.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 19.02.2025; published online 20.06.2025.

УДК 338.364.4

DOI:10.37890/jwt.vi83.602

Анализ и проектирование бизнес-процессов блокчейн в ЛОГИСТИЧЕСКИХ КОМПАНИЯХ

М.В. Фирсов

ORCID: 0009-0001-1377-1598

А.С. Степанова

ORCID: 0000-0002-6611-1518

А.А. Крит

ORCID: 0000-0002-5194-7910

Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород

Аннотация. За последние два десятилетия отрасли грузоперевозок, логистики и коммерческого транспорта претерпели значительное количество технологических инноваций, позволяющих уменьшить стоимость комбинированной доставки.

Технология блокчейн, которая стала известна с 2008 года благодаря криптовалютам, в настоящее время является технологией, которая обещает трансформировать логистическую и транспортную отрасли наряду с искусственным интеллектом и машинным обучением.

В статье проводится анализ преимуществ применения блокчейн в логистической сфере, исследуется реализация смарт-контрактов для логистической системы, особенности бизнес-процессов блокчейн в логистических компаниях с целью повышения их эффективности и дальнейшей разработки программного кода блокчейн системы.

Центральным звеном данных бизнес-процессов является выбор вариантов реализации консенсуса блокчейн. Приводится методика и дополнительные условия внедрения блокчейн в логистике.

Ключевые слова: бизнес-процесс, блокчейн, blockchain, смарт-контракт, логистика, система мониторинга.

Analysis and design of blockchain business processes in logistics companies

Michail V. Firsov

ORCID: 0009-0001-1377-1598

Alla S. Stepanova

ORCID: 0000-0002-6611-1518

Andrey A. Krit

ORCID: 0000-0003-5194-7910

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Over the past two decades, the trucking, logistics, and commercial transportation industries have undergone a significant number of technological innovations to reduce the cost of combined shipping.

Blockchain technology, which has become famous since 2008 thanks to cryptocurrencies, is currently a technology that promises to transform the logistics and transportation industries along with artificial intelligence and machine learning.

The article analyzes the advantages of using blockchain in the logistics sector, examines the implementation of smart contracts for the logistics system, the specifics of blockchain business processes in logistics companies in order to increase their efficiency and further develop the software code of the blockchain system.

The central link of these business processes is the choice of options for implementing blockchain consensus. The methodology and additional conditions for the implementation of blockchain in logistics are presented.

Keywords: business process, blockchain, blockchain, smart contract, logistics, monitoring system.

Постановка проблемы

Блокчейн обладает многими преимуществами. Децентрализация основа блокчейн позволяет повысить объективность контроля логистических бизнес-процессов, повысить их безопасность, ускорить реализацию и повысить в целом их управляемость. Совместное использование инфраструктуры блокчейн должно снизить издержки.

Однако сама процедура консенсуса неоднозначна, и каждый раз определяется требованиями заказчика, отраслевой принадлежности, масштабами деятельности и т.д. Сами бизнес-процессы зависят как от отраслевой принадлежности, так и процедуры консенсуса. Поэтому остро встает вопрос идентификации и анализа бизнес-процессов блокчейн именно для логистических систем с целью повышения их эффективности и дальнейшей разработки программного кода блокчейн системы для логистических компаний. Важно исследовать бизнес-процессы блокчейн параллельно с логистическими бизнес-процессами.

Автоматизированных систем управления логистическим бизнесом много. Важно исследовать и понять, что же нового привносит блокчейн для повышения эффективности логистического бизнеса.

В то же время реализованных проектов блокчейн в логистической сфере пока немного.

Цель статьи – представить концепцию разработки бизнес-процессов блокчейн и их внедрения в логистических системах.

Предпосылки применения блокчейн в логистике

Технология блокчейн позволяет решить разные проблемы на транспорте и в логистике, такие как задержки платежей и споры. Около 140 миллиардов долларов США в день задерживаются из-за споров о платежах [1].

Технология блокчейн приносит следующие преимущества в логистике и грузоперевозках:

- Скорость платежей. Блокчейн позволяет проводить транзакции и платежи через свои узлы, в том числе международные очень быстро. По сути, ограничением является только время на формирование новых блоков в цепочке блокчейн и на последующее обеспечение общей надежности сети, предотвращение ошибок и возвратов платежей при ветвлении цепи.

- Формирование справедливой цены. Внедрение блокчейн в логистические процессы позволяет транспортным компаниям значительно сэкономить на уменьшении количества логистических брокеров и других посредников, за счет формирования более справедливой цены на услуги перевозки в отсутствие искажающего влияния посредников. Смарт-контракты могут заключаться напрямую между пользователями и транспортными компаниями, в том числе в цифровой валюте. Блокчейн в логистике экономит оборотные средства и снижает стоимость услуг.

- Прозрачность. Каждая операция движения товара, начиная от его производства и заканчивая конечным потребителем, регистрируется в блокчейне через неизменяемую запись. Это позволяет всем участникам цепочки поставок отслеживать товары в реальном времени, что значительно снижает вероятность мошенничества,

потерь и краж. Результаты транзакций не могут быть изменены. Их можно отслеживать в реальном времени.

Благодаря прозрачности бизнес-процессов, компании могут резко сократить время обработки документов. Это сократит общее время прохождения грузов через логистические точки и более быстрой доставке товаров конечному потребителю. Клиенты получают доступ к данным об истории происхождения товара и истории транспортировки, где набор данных может впечатляющим, а детализация ограничивается только условиями смарт-контракта и возможностями технологий технического контроля. Это особенно актуально для цепочек поставок, связанных с продуктами питания, опасными грузами, фармацевтическими изделиями, где безопасность и соблюдение стандартов качества играют критическую роль. Также важно отслеживать момент повреждений изделий при транспортировке.

– Безопасность данных. С учетом большого объема передаваемых и обрабатываемых данных, блокчейн предоставляет высокую степень защиты, поскольку каждая запись (блок) в цепи закодирована и связана с предыдущей. Благодаря децентрализованной природе блокчейна, не будет сбоя, который приведет к потере данных. Участники могут быть уверены, что информация, хранящаяся в блокчейне, безопасна и недоступна для несанкционированного изменения.

– Повышение уровня доверия. В традиционных логистических сетях доверие между участниками часто ставится под сомнение, что может привести к нарушению условий контрактов и задержкам в доставке. Блокчейн создает неизменяемую и прозрачную запись всех транзакций, что повышает доверие между бизнес-партнерами.

– Анализ и прогнозирование. Система блокчейна неизменно генерирует обширные данные о каждой транзакции. Эти данные могут быть использованы для глубокой аналитики и прогнозирования трендов в цепочке поставок. Логистические компании могут анализировать поведение потребителей, оптимизировать маршруты доставки и предсказывать потенциальные проблемы, такие как задержки или дефициты, что позволит минимизировать риски и лучше планировать ресурсы. Обработка и анализ этих данных становятся более эффективными благодаря блокчейну, так как информация уже централизована и доступна в реальном времени. Это создает возможность для компаний адаптироваться к изменениям на рынке и предложениям потребителей более гибким образом.

– Глубокое использование технологий. Использование RFID-меток – уже устоявшаяся практика в цепочке поставок. Однако блокчейн идет дальше и записывает данные с RFID-меток в неизменяемую историю производства и транспортировки продукции.

– Повышение надежности грузовых перевозок. Многие транспортные компании настороженно относятся к онлайн-доскам погрузки, потому что данные часто могут путаться или дублироваться, что дает ненадежное представление о спросе. С помощью блокчейна грузоотправители могут публиковать грузы с отметками времени, которые записываются и проверяются децентрализованной сетью. Груз не может быть продублирован и данные сохранят свою целостность.

Таблица 1

Отличие технологии автоматизации контроля доставки с помощью RFID-меток (RFID) от технологии блокчейн

Исследуемые признаки	Характеристика признака для технологий	
	RFID	Блокчейн
Хранение данных	централизованное	распределённое
Уровень проникновения (охвата) логистических бизнес-процессов	Точечный в соответствии с требованиями оформления груза	Сплошной согласно смарт-контракту, включая производственные процессы
Стандарты	Соблюдение обязательных стандартов безопасности перевозки и правил оформления грузов	Соблюдение добровольных отраслевых стандартов блокчейн

Основные риски блокчейна заключаются в потере или краже приватных ключей, необходимых для участия в блокчейне, а также при использовании программ-мостов при интеграции разных систем блокчейн.

Проекты Блокчейн на практике финансируются и разрабатываются в рамках альянсов транспортных и логистических компаний. Так, транспортном альянсе (ViTA) насчитывает около 500 членов из более чем 25 стран.

Члены альянса выдвинули общую миссию – способствовать внедрению новых технологий. Чтобы успешно работать в этом направлении, они разрабатывают отраслевые стандарты, обучают участников отрасли блокчейн-технологиям и поощряют внедрение этих технологий. В совет директоров ViTA входят представители крупных логистических компаний, таких как FedEx и UPS, и транспортных компаний, таких как Delta, BNSF и Daimler.

Следует сказать об отличительных особенностях блокчейн от автоматизации контроля доставки с помощью RFID-меток (табл.1).

Само по себе оснащение груза RFID-меткой для автоматизации отслеживания местоположения и взаимодействия между разными участниками логистической цепочки, измерения важных показателей (температура, влажность и т.д.) может применяться и без блокчейн на централизованном сервере.

Но большое количество бюрократических процедур приводит к увеличению стоимости доставки в среднем на 30%. Количество споров между контрагентами в логистической цепи также огромно. Именно с целью решить эти проблемы стала применяться распределенная технология блокчейн.

Тенденции интеграции данных в бизнесе и роль блокчейн в интеграции

Для управления внутренними бизнес-процессами предприятия используются так называемые ESB и BPM.

ESB (Enterprise Service Bus) обеспечивает сложную интеграцию и обмен данными между приложениями внутри предприятия.

BPM (Business Process Management) используется для моделирования, автоматизации бизнес-процессов на предприятиях с целью повышения их производительности, эффективности и гибкости.

В рамках ESB и BPM обмен информацией по контрактам между компаниями не обеспечивает полного контроля всей цепочки одного интегрированного в рамках нескольких компаний бизнес-процесса.

На текущем горизонте развития именно технология блокчейна обеспечивает прозрачность такого интегрированного процесса.

В блокчейне все участники работают с одним бизнес-процессом на основе смарт-контрактов. Общее состояние по всем входящим бизнес-процессам хранится в распределенном реестре.



Рис. 1. Место блокчейн в развитии структуры и инструментов интеграции бизнес-процессов

Блокчейн рассматривается в качестве следующего этапа эволюции интеграции бизнес-процессов [2].

Общая эволюция интеграции бизнес-процессов и технических средств представлена на рис.1. От протоколов FTP перешли к API (WSDL, SOAP). А теперь все перечисленные протоколы работают в рамках смарт-контрактов. Следующий этап – подключение к смарт-контрактам искусственного интеллекта в лице агентов.

Контроль общих данных и бизнес-процессов вовне компании с помощью блокчейн не подходит для всех компаний. Такое возможно применять только в определенных отраслях и на тех предприятиях, где процессы можно и хотят стандартизировать.

Следующим этапом интеграции является вовлечение в блокчейн агентов на основе искусственного интеллекта, способных самостоятельно выстраивать цепочки и заключать договора поставки.

В результате внедрения блокчейн и электронных агентов значительно сокращается количество грузовых брокеров и других посредников.

Анализ бизнес-процессов передачи информации технологии блокчейн

Для описания бизнес-процессов и технологии блокчейн будем следовать методике, используемой для проектирования бизнес-процессов.

Технологию блокчейн как комплексная структура включает в себя элементы: бизнес-процессы, смарт-контракты, технологии защиты информации и компьютерную программу.

Данные, которые могут входить в смарт-контракт блокчейна логистической компании:

- Идентификация сторон, участвующих в сделке. Это могут быть отправители, получатели, транспортные компании, страховые организации. Все участники должны быть подтверждены через их уникальные идентификаторы в блокчейне.

- Условия выполнения контракта. Смарт-контракт должен включать четкие условия доставки, такие как место отправления, конечный пункт, время доставки и допустимые задержки, маршруты, объём, характеристики груза и стоимость услуг. Может отдельно прописываться вся цепочка движения груза. Эта информация помогает автоматически отслеживать и проверять выполнение обязательств сторон, промежуточные этапы и альтернативные маршруты.
- Условия транспортировки. Включает описание груза, его вес, объём, стоимость. Смарт-контракт позволяет отслеживать температуру, влажность, уровень наклона, вибрацию, уровень шума в процессе доставки. В случае достижения предельных значений параметров программный компонент смарт-контракта рассылает сторонам логистической сделки сообщение о событии и, либо реализует, либо предлагает альтернативные варианты бизнес-процесса.
- Условия оплаты и финансового учёта. Включают стоимость перевозки, сроки платежей и валюту расчетов. Можно предусмотреть возможность автоматического списания средств с кошелька отправителя в момент выполнения условий доставки.
- Механизмы мониторинга и отчетности. Для логистических компаний важно отслеживать движение грузов в реальном времени. Смарт-контракты могут взаимодействовать с IoT-устройствами, которые обеспечивают обновления о местонахождении груза, его состоянии и других ключевых параметрах. Информация о статусе выполнения договора будет автоматически обновляться в самом смарт-контракте.
- Правила разрешения споров. В смарт-контракте должна быть предусмотрена процедура, которая позволит сторонам разрешать конфликты. Это может быть сделано путем автоматического обращения к третьей стороне в случае несоответствия или нарушения условий контракта.

Можно выделить следующие основные элементы информационных процессов блокчейн.

Токен – расчетная единица либо эквивалент актива. Токены в логистике нужны для быстрых расчетов. Если нужен дополнительный выпуск в рамках логистического альянса, то он должен быть ограничен скоростью товарооборота в логистической системе в виде процента от товарооборота. В логистике это может быть криптовалюта, выпускаемая для оплаты услуг в логистической цепи с учетом затрат на амортизацию инфраструктуры блокчейн.

Транзакция – совокупность действий клиентов и участников логистического альянса в рамках одной неделимой логистической операции (перемещение товара и оформление электронных документов, оплата). Операция атомарна, и отменяется в случае отмены хотя бы одного ее элемента.

Результат действий на выходе из транзакции определяет состояние. Результаты всех транзакций определяют состояние сети блокчейн и ее физического аналога - логистической цепи.

Узлы сети генерируют и упаковывают транзакции в блоки, блоки – в цепочки блоков и рассылают их между собой [3], [4].

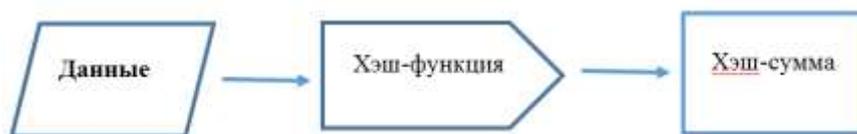


Рис. 2. Формирование хэш-суммы

Цепочка блоков содержит состояние переменных по всем транзакциям в хронологической последовательности выработки блока.

Для идентификации транзакций и блоков в блокчейн вычисляется хэш-сумма (набор байт) с помощью хэш-функции, которая выражается через данные транзакции и блоков (рис.2). Данную математическую функцию нельзя определить за разумное время. Коллизия по хэш-сумме разрешается путем сравнения всех элементов транзакции или блока.

Блоки и транзакции подписываются электронной подписью для идентификации узла.

Результаты транзакций и транзакции в блоках вместе с их хэш-суммами шифруются по распространенному алгоритму с публичным и частным (закрытым) ключом. Ключи генерируются при использовании электронной подписи (рис.3).

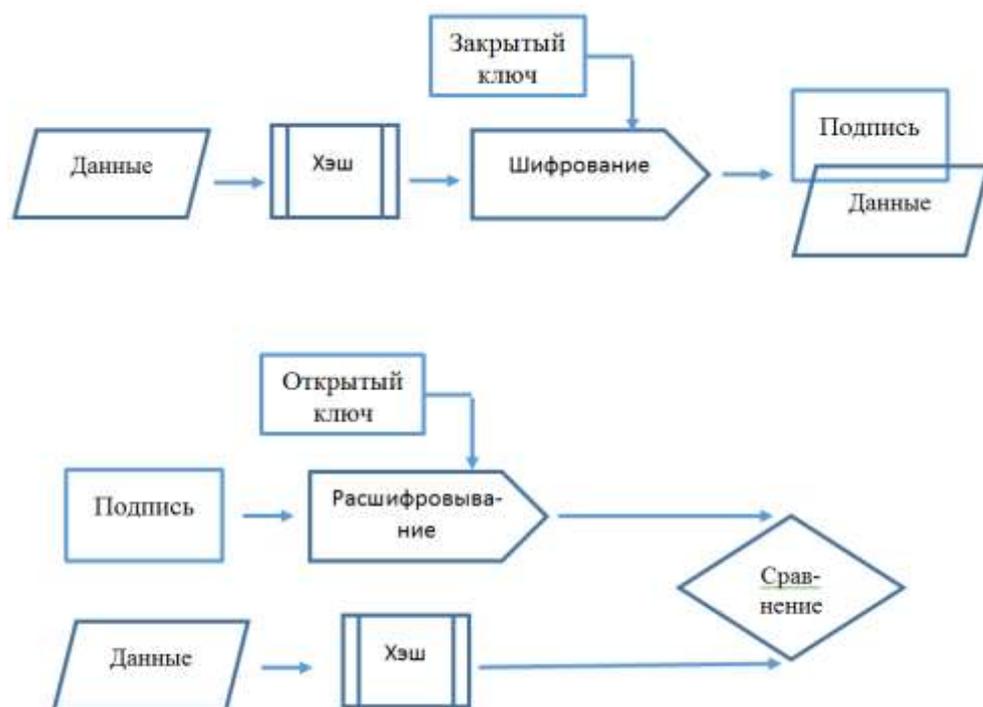


Рис. 3. Использование электронной подписи

Зашифрованные вместе с данными и рассчитанные на основе полученных данных хэш-суммы при валидности данных одинаковые [5]. Подделать все данные и хэш-суммы за разумное время невозможно.

В данные по каждому блоку включают хэш предыдущего блока (рис.4).

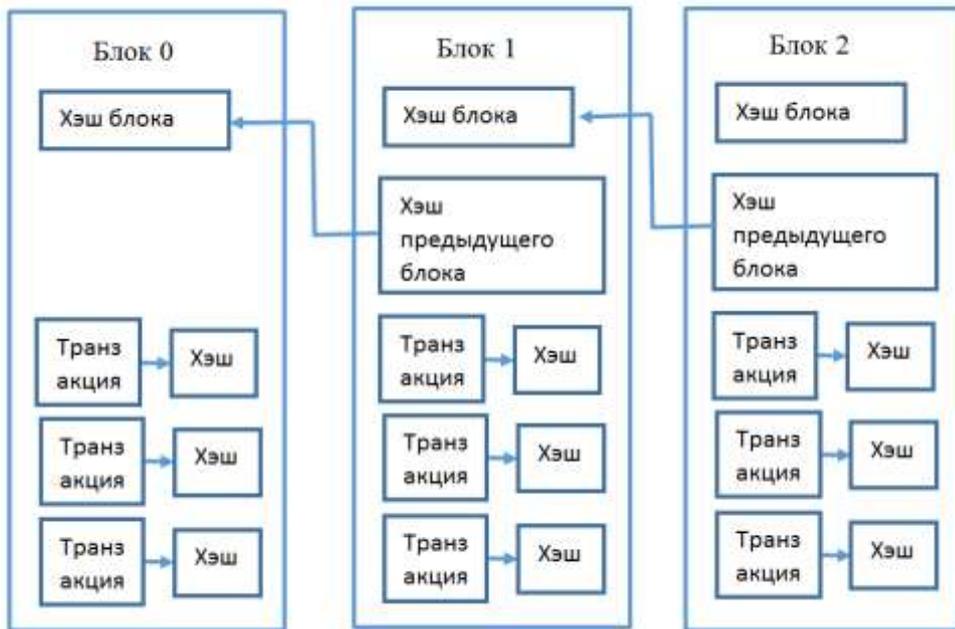


Рис. 4. Формирование цепочки блоков

Владельцы компаний логистической цепи, логистические брокеры, а также их клиенты осуществляют транзакции через узлы сети. Узлы генерируют транзакции и упаковывают их в блоки. Для обмена в сети по протоколу используют программный компонент – кошелек (рис.5). Также есть специализированные узлы

По мере накопления транзакций на их основе узел-генератор создает новый блок. Рассылка блока по сети обеспечивает сохранность и доступность данных в сети.



Рис. 5. Взаимодействие узлов в сети блокчейн

Генерация и валидация блока предполагают использование взаимосвязанного алгоритма консенсуса, позволяющего сети эффективно работать.

Анализ возможных вариантов реализации консенсуса блокчейн в логистике

Консенсус необходим для нормального функционирования распределенной сети.

В попытке балансировать затраты и надежность доставки данных было разработано множество алгоритмов консенсуса.

Теорема CAP Эрика Брюэра говорит о невозможности распределенной системы одновременно реализовать три условия: согласованности, доступности и устойчивости к разделению. При отключении каких-либо узлов от сети, система будет выбирать между согласованностью и доступностью.

Рассмотрим основные понятия, входящие в аббревиатуру CAP.

Согласованность предполагает одинаковые данные во всех узлах в определенный момент времени.

Доступность предполагает возможность получить необязательно идентичных данных в любой момент от разных компонент системы.

Устойчивость предполагает функциональную работу критического большинства узлов сети.

Разработка консенсуса сродни нахождению компромисса по требованиям теоремы CAP.

Применение CAP-теоремы в разработке бизнес-процессов предполагает следующие действия:

- Провести анализ требований к бизнес-процессам логистической системы. Как правило, логистические бизнес-процессы допускают некоторую задержку поступления финансовых данных. В приоритете могут быть технические данные для обеспечения безопасности движения. Тонкий момент, это расчет критически важных промежутков задержки информации, так как это влияет на точность, безопасность и, наконец, затраты на построение системы логистического блокчейна.

Для блокчейн наибольшее применение имеют два алгоритма консенсуса: proof of work (PoW) и proof of Stake (PoS).

Сразу нужно отметить, что в биткойн-блокчейне узлы заранее не определены и подключаются к сети хаотично. Поэтому выработка консенсуса обеспечивается алгоритмом шифрования самой сети биткойна, использующим доказательство работы (PoW).

Узлы-генераторы перебирают хэша с целью найти тот, в котором зашифрованы данные: версия ПО, хэш предыдущего блока, корень Меркла с актуальным состоянием всех транзакций в блокчейне, временной штамп, уровень сложности, случайное значение nonce.

Мощность биткойн-сети стремительно увеличивается, что снижает вероятность атаки на сеть из-за ее дороговизны. Любой узел-генератор обладает данными по транзакции кроме nonce, поэтому перебирает число nonce. Узел, который первый подобрал значение nonce, получает вознаграждение за работу. Данный алгоритм предполагает многочисленное дублирование вычислительной работы у соревнующихся за вознаграждение узлов.

Потому появились варианты новых алгоритмов.

В алгоритме proof of Stake (PoS), или доказательстве доли владения, узлы-валидаторы блока получают вознаграждение и выбираются случайно. Узел-валидатор выбирается чаще, если вносит залог для возмещения потерь от своих действий и имеет на балансе высокую долю криптовалюты [6].

Proof of Elapsed Time (PoET), доказательство потраченного времени. В этом алгоритме узлы ждут произвольный промежуток времени, чтобы начать генерировать новый блок.

РoE, Proof of Ethic, доказательство на основе этических правил. Данный алгоритм дает возможность зарабатывать вознаграждение всем узлам сети.

И ряд других алгоритмов.

Коммерческие блокчейны и вовсе могут проводить валидацию централизованно по своему алгоритму.

Для консорциума логистических компаний наиболее предпочтительным видится алгоритм РoЕ.

Кратко алгоритм РoЕ можно представить так:

1. Узел создает транзакцию.
2. Сеть выбирает узел-генератор.
3. Узел-генератор формирует транзакцию.
4. Сеть выбирает узел-валидатор.
5. Узел-валидатор проверяет правильность транзакции.
6. Сеть выбирает узлы-генераторы для блока.
7. Сеть выбирает узлы-валидаторы для блока.
8. Узел-валидатор проверяет правильность созданного блока.
9. Узел-валидатор отправляет проверенный блок другим узлам сети.

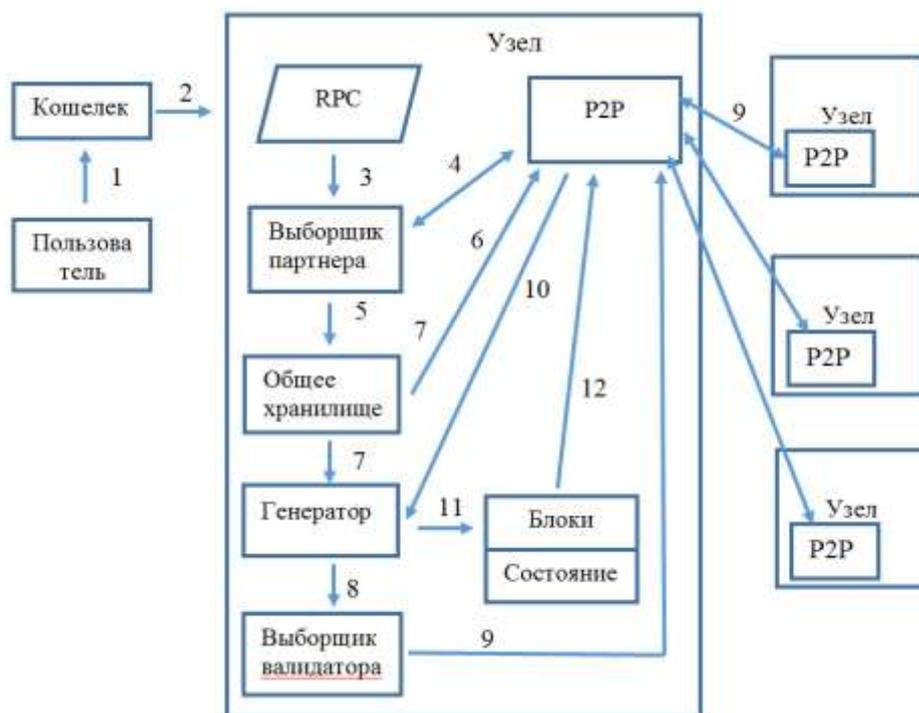


Рис. 6. Архитектура системы блокчейн

Алгоритм РoЕ обладает следующими достоинствами:

- Надежность обеспечивается случайным выбором валидаторов.
- Масштабируемость обеспечивается высокой скоростью обработки транзакций, без дублирования работы на перебор хэшей.
- Децентрализация обеспечивает более высокую сохранность и неприступность данных.
- Безопасность обеспечивается за счет установки рейтинга надежности узлам.

- Все участники сети получают за работу компенсацию как часть логистической услуги (фрахта)

Выбор для логистической цепи консенсус определяет бизнес-процессы в сети блокчейн. Рассмотрим подробнее его основные этапы:

- 1 - Пользователь (участник логистической цепи) через кошелек подключается к узлу сети.
- 2 - Используя интерфейс кошелька, пользователь через вызов удаленной процедуры Remote Procedure Call (RPC) на узле дает распоряжения на осуществление транзакции.
- 3 - RPC создает и передает транзакцию программному компоненту на этом или другом узле сети для выбора узла-партнера.
- 4 - Программный компонент выбирает узел-партнер и через сервер P2P отправляет выбранному узлу транзакцию на подпись. Партнер возвращает подпись для включения в транзакцию.
- 5 - Транзакция сохраняется в памяти узла.
- 6 - Транзакция рассылается по сети для сохранения на узлах.
- 7 - Узел копит в хранилище транзакции до объема, необходимого для генерации блока. Если узел выбран в качестве генератора, то транзакции из хранилища отправляются в программный компонент-генератор.
- 8 - Генератор создает блок и пересылает его в программный модуль для выбора валидатора.
- 9 - Программный модуль выбирает узлы-валидаторы и рассылает им сгенерированный блок по сети.
- 10 - Валидаторы на узлах проверяют блок, создают подписи и отправляют их в генератор на выбранном узле-генераторе.
- 11 - Подписи включаются в блок. Генератор пересылает созданный блок в хранилище. Номер блока будет использован для генерации следующего блока.
- 12 - Блок рассылается по сети (рис.6) [5].

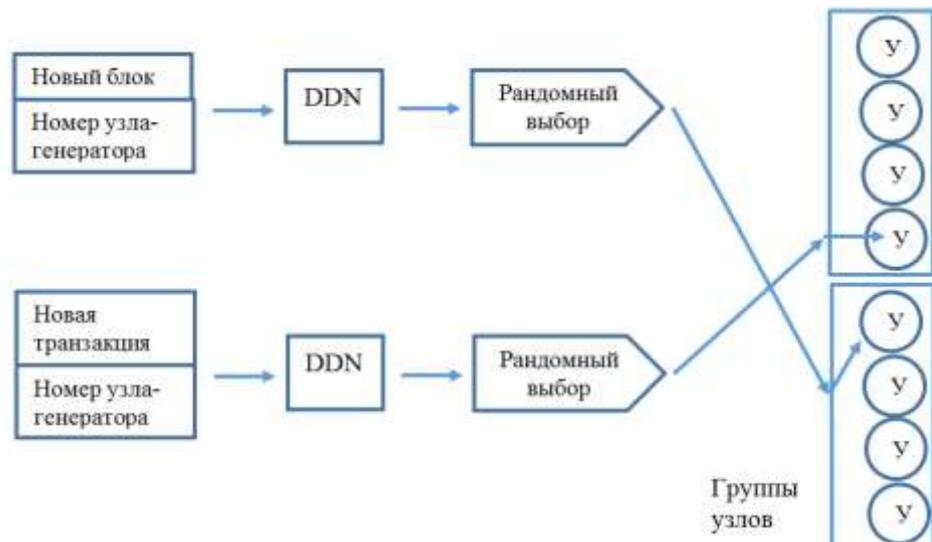


Рис. 7. Выбор узлов-генераторов

Узлы для партнерства и валидации выбираются на основе случайного числа, так называемого Data Dependable Number (DDN). Это число зависит от хэша блока и идентификатора узла (рис.7).

Узел в сети распознают на основе публичного ключа, который есть у каждого узла блокчейн-сети.

Анализ алгоритма консенсуса позволяет сделать вывод, что для логистических компаний он должен определять прозрачность и степень доминирования отдельных владельцев узлов и узлов-валидаторов.

Таблица 2

Свойства основных алгоритмов консенсуса блокчейн

Исследуемые признаки	Характеристика признака для алгоритмов	
	Доказательство работы (PoW)	Доказательство на основе этических правил (PoE)
Хранение данных	распределённое	распределённое
Уровень надёжности	очень высокий, сговор невозможен	Средний, возможен сговор и объединение в группы внутри логистического альянса
Уровень затрат на один блок	очень высокий	низкий
Степень прозрачности логистических бизнес-процессов	согласно отраслевым стандартам логистического альянса и смарт-контракту	согласно отраслевым стандартам логистического альянса и смарт-контракту
Ликвидность финансовых средств в системе блокчейн	Очень высокая	Невысокая, согласно стандартам логистического альянса

С учетом проведенного анализа можно выделить следующие свойства основных алгоритмов консенсуса (табл.2)

Проблемы проектирования и функционирования бизнес-процессов блокчейн

Ограничение производительности сети. Превышение порогового объема транзакций приведет к перегрузке оборудования, медленному работе сети, задержкам проведения транзакций, валидации транзакций и блоков. Отсутствие общих стандартов может приводить к несовместимости совместной работы разных блокчейн-систем.



Рис. 8. Хардфорк

Создание так называемых «мостов» между блокчейн-системами для отправки данных приводит к снижению безопасности сети ввиду уязвимости «узлов-переходников».

Также следует выделить проблему так называемых форков, то есть разделения сети на две отдельные ветви (две отдельных сети).

Можно выделить следующие разновидности форков.

Хардфорк — изменение протокола блокчейна, которое приводит к недействительности ранее выпущенных (к моменту форка) старых блоков и транзакций.

Все узлы сети должны обновить свои программные компоненты для продолжения работы в обновленной сети. Хардфорк бывает как запланированным (для улучшения функций и безопасности сети), так и вызван разногласиями владельцев узлов. Если разногласия не решаются, то продолжают работу уже сразу две системы блокчейн за счет разделения цепи блоков (рис.8).



Рис. 9. Выбор узлов-генераторов

Софтфорк — это мягкая форма обновления сети блокчейн. Предполагает обновление протокола на совместимый с более ранними его версиями. Узлы продолжают работать в одной цепи блоков без разделения на отдельные сети (рис.9).

Форк (раздвоение сети) может получаться вследствие ошибок. Например, при получении одновременного доступа к блоку двумя узлами. Когда каждый узел распространяет свой блок в сеть узлам, с которыми взаимодействует. Узлы выбирают один из двух блоков и начинают производить следующий блок отталкиваясь от выбранного.

Решением этой проблемы является ожидание, какой блок будет произведен следующим, а также к какой цепочке он присоединится. Победителем будет цепь, которая длиннее. На величину ожидания как правило, откладывают совершение платежей по транзакции.

Для уменьшения влияния и количества форков можно проводить многократные проверки валидности транзакций, увеличения количество узлов-валидаторов.

Данные мероприятия не будут критичны по времени обработки в логистическом блокчейне.

Если рассмаптривать внедрение блокчейн именно в логистической цепочке, с целью и обеспечения транзакций без генерации новых «монет», вполне можно пойти на снижение производительности, а также на отсутствие конкуренции в создании блока среди ограниченного круга узлов-генераторов.

Методика внедрения блокчейн в логистике

Следует особое внимание уделять не только разработке, но и внедрению блокчейн-системы.



Рис. 10. Методика внедрения блокчейн в логистике

1. Определение цели и показателей эффективности.

Кроме грамотной формулировки цели необходимо настроить метрики эффективности, чтобы измерить, насколько хорошо работает интеграция блокчейна.

2. Модернизация тары и упаковки под цели блокчейн – как концептуально, так и на уровнях конструкции тары и технологии работы специальных датчиков и меток. Внедрение дополнительной функция видеofиксации и хранения для перевозок на платформе блок-чейн.

3. Модернизация маршрутов доставки. Применение комбинированной тары под погрузку-разгрузку мелких грузов по пути следования. Применение беспилотников для непосредственной доставки вдоль береговой линии. Также необходимо осуществлять мероприятия по модернизации портовой инфраструктуры [7].

3. Разработка минимально жизнеспособного продукта блокчейн

Создание минимально жизнеспособного продукта (Minimal Viable Product MVP) — это разумный шаг для проверки идеи блокчейна без того, чтобы инвестировать все деньги сразу. Это позволяет собирать реальные отзывы и вносить улучшения на основе реального пользовательского опыта.

В договоре оказания транспортных услуг необходимо максимально подробно описать программную реализацию смарт-контракта.

Все это поможет проверить концепцию внедрения, прежде чем вкладывать больше времени и ресурсов в интеграцию блокчейна.

4. Тестирование смарт-контрактов

Стремясь к функциональности, безопасности и надежности, необходимо проводить тщательное тестирование для проверки того, что смарт-контракты работают без сбоев и остаются безопасными, интеграция с блокчейном работает должным образом. Необходимо включить модульные тесты для изучения каждого компонента, интеграционные тесты, чтобы увидеть, как все детали соединяются вместе, и стресс-тесты, чтобы выяснить, как система справляется с большими объемами.

5. Планирование системной интеграции (рис.10)

Чтобы сделать процесс более плавным, создайте подробный план того, как блокчейн будет работать с вашими текущими системами и рабочими процессами. Это может означать обновление старых систем, создание новых

интерфейсов данных или настройку процессов, чтобы освободить место для блокчейна.

6. Вовлечение команды

Когда команда вовлечена и хорошо информирована, она с большей вероятностью примет новую технологию и поможет сделать интеграцию блокчейна успешной.

7. Постоянное совершенствование системы блокчейн

Необходимо регулярно проводить регулярный аудит безопасности, следить за тем, соответствует ли ваша система поставленным целям, искать возможности для ее улучшения и корректировки.

Заключение

Большое количество бюрократических процедур приводит к увеличению стоимости доставки. Количество споров между контрагентами в логистической цепи также огромно. Именно с целью решить эти проблемы стала применяться распределенная технология блокчейн.

С использованием блокчейна модели общих данных и бизнес-процессов перемещаются в общие корпоративные сети. Следующим этапом интеграции является вовлечение в блокчейн агентов на основе искусственного интеллекта, способных самостоятельно выстраивать цепочки и заключать договора поставки.

Методика внедрения блокчейн в логистике предполагает модернизацию тары и упаковки под цели блокчейн – как концептуально, так и на уровнях конструкции тары и технологии работы специальных датчиков и меток, модернизацию маршрутов доставки, применение комбинированной тары под погрузку-разгрузку мелких грузов по пути следования.

Для балансирования затрат, прозрачности и надежности доставки данных в блокчейн в первую очередь следует определить или разработать ключевой элемент реализации бизнес-процессов блокчейн - алгоритм консенсуса. Алгоритм консенсуса должен определять степень доминирования и прозрачность владельцев узлов.

Список литературы

1. How blockchain is revolutionizing the world of transportation and logistics (infographic) - <https://www.winnesota.com/blockchain/> (дата обращения 22.01.2025).
2. The next integration evolution - blockchain. - <https://techcrunch.com/2019/02/05/blockchain-as-integration-evolution/> (дата обращения 22.01.2025).
3. Фирсов М.В. Роль 3D-маркетинга в конструировании бизнес-процессов. / М.В. Фирсов // Маркетинговые коммуникации. - 2016.- №3.- С.164–172.
4. Фирсов М.В. Концепция разработки компонентов безопасности на основе развития бизнес-процессов логистики компании. / М.В. Фирсов // Научные проблемы водного транспорта. – 2024. - №79(2). - С.164–176.
5. Виталий Ткаченко. История одного блокчейна. - 18 окт 2024. - <https://habr.com/ru/articles/851628/> (дата обращения 22.01.2025).
6. Алгоритмы Консенсуса в Блокчейне: POW, POS и другие. Какие бывают? Отличия <https://bytwork.com/articles/consensus> (дата обращения 22.01.2025).
7. Сухарев Д.Н., Костров В.Н., Ничипорук А.О., Почекаева О.В. Концептуальный методический подход к формированию инновационной портовой транспортно-логистической инфраструктуры в рамках территорий опережающего развития // Научные проблемы водного транспорта. – 2024. - №81(4). - С.164–176.

References

1. How blockchain is revolutionizing the world of transportation and logistics (infographic). Available at: < <https://www.winnesota.com/blockchain> > (accessed 22.01.2025).

2. The next integration evolution - blockchain. Available at: < <https://techcrunch.com/2019/02/05/blockchain-as-integration-evolution/>> (accessed 22.01.2025).
3. Firsov M.V. Rolj 3D-marketinga v konstruirovanii biznes-processov [The role of 3D marketing in business process design]. Journal of Marketing communications. 2016, no 3, pp. 164–172. (In Russ).
4. Firsov M.V. Kontseptsija razrabotki komponentov bezopasnosti na osnove razvitija biznes-protsessov kompanii [The concept of developing security components based on the development of business processes in the company's logistics] // Scientific problems of water transport. 2024, no 79, pp. 164–176. (In Russ).
5. Vitalii Tkachenko. Istorija odnogo blokchajna [The history of one blockchain]. - October 18, 2024. - <https://habr.com/ru/articles/851628/> (accessed 22.01.2025).
6. Algoritmi konsensusa v blockchain: POW, POS I drugii. Kakii bivajut? Otlcija. [Consensus algorithms in the Blockchain: POW, POS and others. Which ones are there? Differences.] Available at: < <https://bytwork.com/articles/consensus>> (accessed 22.01.2025).
7. Suharev D.N., Kostrov V.N., Nichiporuk A.O., Pochekaeva O.V. Kontseptualnii metodicheski podhod k formirovaniju innovatsionnoi portovoi transportno-logisticheskoi infrastrukturi v ramkah teritorii operezhajushego razvitija [A conceptual methodological approach to the formation of an innovative port transport and logistics infrastructure within the territories of advanced development] // Scientific problems of water transport. 2024. no 81, pp. 166–174. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Фирсов Михаил Владимирович, профессор, д.э.н., профессор кафедры Систем информационной безопасности, управления и телекоммуникаций, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО ВГУВТ) 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: fimv@inbox.

Michail V. Firsov, Ph.D. in Economic Science, Associate Professor of the Department of Information Security, Management and Telecommunications Systems, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Степанова Алла Сергеевна, доцент кафедры иностранных языков и конвенционной подготовки, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО ВГУВТ), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: allastepanova@mail.

Alla S. Stepanova, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor of the Department of Foreign Languages and Convention Training, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Крит Андрей Александрович, аспирант кафедры Систем информационной безопасности, управления и телекоммуникаций, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО ВГУВТ) 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: qgc89092850880@gmail.com

Andrey A. Krit, PhD student of the Department of Information Security, Management and Telecommunications Systems, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 27.01.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 27.01.2025; published online 20.06.2025.

УДК 33

DOI:10.37890/jwt.vi83.603

Контейнерные перевозки, новый шаг во взаимодействии морских и железнодорожных перевозок в условиях современной России

В.С. Чеботарев¹

ORCID: 0000-0002-2913-2360

П.Н. Пешехонов²

ORCID: 0009-0003-2734-1251

Ж.Ю. Пыжова¹

ORCID: 0000-0003-0472-3428

А.В. Дорожкин³

ORCID: 0000-0003-3578-6421

¹*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия*

²*АО «Северо-Западная пригородная пассажирская компания», г. Санкт-Петербург, Россия*

³*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация: в статье изложена позиция авторов на современные тенденции контейнерных перевозок, как в мире, так и в современных условиях санкционных ограничений со стороны иностранных государств в отношении отраслей экономики Российской Федерации. Приводятся статистические данные мировых морских контейнерных перевозок, рассмотрены основные маршруты морских грузовых перевозок. Обращено внимание на возникающие проблемы при грузовых морских перевозках по Суэцкому и Панамскому каналам. Затронуты моменты, связанные с изменениями климата, в частности глобального потепления и его отражении на морских перевозках и возникающих перспектив Северного морского пути, представлена его графическая схема. Обозначены экономические преимущества и перспективному развитию Северного морского пути, в том числе и точки зрения безопасности перевозок. Рассмотрена структура контейнерных перевозок в России, затронута тема существенных изменений за последние годы в связи с введением санкций со стороны недружественных государств. Представлены изменения по направлениям грузовых потоков, приведены статистические данные экспорта и импорта России. Обозначены перспективы развития транспортной инфраструктуры, морского порта Оля, как основного порта Каспия и морского торгового порта «Усть-Луга». Отражены моменты, связанные с изменением контейнерных перевозок и на железнодорожном транспорте. Обозначены инновации и разработки в сервисе перевозки контейнеров железнодорожным транспортом. Озвучены статистические данные контейнерных перевозок железнодорожным транспортом в начале 2025 года. Приведены примеры развития железнодорожных контейнерных перевозок их взаимосвязь с водным транспортом и его инфраструктурой. Обозначены поставленные задачи по развитию контейнерных перевозок в России и их перспективы.

Ключевые слова: транспортный комплекс, логистика морских перевозок, контейнерные перевозки, водный и железнодорожный транспорт.

Container transportation as a new step in the interaction of sea and rail transportation in modern Russia

Vladislav S. Chebotarev¹

ORCID: 0000-0002-2913-2360

Pavel N. Peshekhonov²

ORCID: 0009-0003-2734-1251

Zhanna Y. Pyzhova¹

ORCID: 0000-0003-0472-3428

Artyom V. Dorozhkin³

ORCID: 0000-0003-3578-6421

¹*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

²*JSC "North-Western Suburban Passenger Company", St. Petersburg, Russia*

³*National Research University of Nizhny Novgorod named after N.I. Lobachevsky, Nizhny Novgorod, Russia*

Abstract: The article presents the authors' position on current trends in container transportation, both in the world and in the current conditions of sanctions restrictions from foreign countries in relation to the sectors of the economy of the Russian Federation. Statistical data on global container shipping are presented, and the main routes of sea freight transportation are considered. Attention is drawn to emerging problems in cargo shipping via the Suez and Panama Canals. The issues related to climate change, in particular global warming and its impact on maritime transportation and emerging prospects of the Northern Sea Route, are touched upon, and its graphical scheme is presented. The economic advantages and promising development of the Northern Sea Route, including from the point of view of transportation safety, are outlined. The structure of container transportation in Russia is considered, and the topic of significant changes in recent years due to the imposition of sanctions by unfriendly states is touched upon. Changes in the directions of cargo flows are presented, and statistical data on Russian exports and imports are provided. The prospects for the development of transport infrastructure, the seaport of Olya as the main port of the Caspian Sea and the commercial seaport of Ust-Luga are outlined. The issues related to the changes in container transportation and rail transport are reflected. The innovations and developments in the container transportation service by rail are outlined. Statistical data on container transportation by rail in early 2025 have been announced. Examples of the development of rail container transportation and their relationship with water transport and its infrastructure are given. The tasks set for the development of container transportation in Russia and their prospects are outlined.

Keywords: transport complex, logistics of sea transportation, container transportation, water and rail transport.

Введение

По сведениям Совета по торговле и развитию Комиссии по торговле и развитию ООН, основной мировой товарооборот транспортируется морем, и доля его составляет 80%. В этом объеме товарооборота, существенную часть занимают морские контейнерные перевозки [1]. Надо отметить, что в период с 1983-2022 г.г. объёмы контейнерных перевозок ежегодно увеличивались и их доля на 2023 год среди всех грузов составила 16%, а в торговле сухими грузами достигла 23% (рис. 1).



Рис. 1. Объёмы мировых морских контейнерных перевозок, млн тонн [2]

В чем же заключается растущий спрос на контейнерные перевозки, - по сути контейнеры, это металлические ящики, которые имеют определенные стандартные размеры и обладают высокой степенью защиты как от погодных условий, так и от механических повреждений и можно сказать, что являются коробкой (упаковкой) для груза. Их удобно перегружать с одной транспортной платформы на другую (морской, железнодорожной, автомобильной) с минимальными затратами и потерями. Контейнеры позволяют экономить место и увеличивать количество перевозимых грузов, кроме того, их легко отследить и контролировать на различных этапах перевозки, а это улучшает эффективность и надежность логистической системы. Поэтому контейнерные перевозки становятся более привлекательными и спрос на них показывает ежегодный рост.

Результаты

Ведущую роль среди контейнерных перевозок на мировом рынке занимает Азиатско-Тихоокеанский регион, его доля более 70% всех мировых перевозок. В данном регионе первое место по объему занимают Внутриазиатские перевозки, на втором месте перевозки из Азии в Северную Америку, на третьем – перевозки из Азии в Европу. Вместе с тем в настоящее время наблюдается быстрое развитие контейнерных перевозок в Африке и на Ближнем Востоке [3].

Если говорить о перевозках из Азии в Европу, то, конечно, основной морской маршрут, это маршрут через Индийский океан и Суэцкий канал, соединяющий Красное и Средиземное моря. По данному маршруту идет более 1,3 млрд тонн грузов и проходят 20 тыс. судов в год, в порты Турции, Европы и дальше. Это уже устоявшийся торговый маршрут, используемый с 1869 года, в настоящее время уже с развитой инфраструктурой и обслуживанием (например, некоторые супертанкеры из-за осадки судна не могут пройти через канал, но уменьшив осадку судна путем выгрузки части груза на суда, обслуживающие канал и загрузки обратно по прохождению канала). С целью увеличения пропускной способности судов, путем двустороннего движения, 6 августа 2025 года был открыт дублер Суэцкого канала, длиной 72 км, что позволило увеличить ежедневную пропускную способность судов с 49 до 97. Но учитывая, что в современном мире появились точки напряженности на маршруте через Суэцкий канал: Южно-Китайское море, сложная обстановка около Тайваня, - военные риски; Сингапурский пролив, - пиратство; в Красном море хуситы атакуют транспортные суда, - военные риски; сложная обстановка в Палестине и Сирии, - военные риски, то многие перевозчики стали направлять суда через мыс Доброй Надежды, то есть в обход, из-за этого увеличивается срок пути на две недели [4].

В данной ситуации, с учетом названных рисков считаем целесообразным рассматривать Северный морской путь, как наиболее перспективный по доставке

грузов из Азии в Европу. Этот путь на 3 900 км короче и на 13 дней быстрее, чем путь через Суэцкий канал. Т.е. товары из Азии в Европу смогут доставляться быстрее и с меньшими затратами. Но есть определенные сложности и специфика: – это необходимость развития инфраструктуры и необходимость наличия судов с повышенным ледовым классом, а также суровая северная погода (рис. 2). Надо отметить, что в настоящее время идет интенсивное развитие инфраструктуры данного пути [5-8].



Рис. 2. Схемы маршрутов: через Суэцкий канал и Северный морской путь (подготовлено авторами)

Проблемы с судоходством возникли не только на маршруте из Азии в Европу через Суэцкий канал, но и через маршрут из Тихого Океана в Атлантический, а именно через Панамский канал. Ежегодно по каналу проходит около 14 тыс. кораблей с товарами из Азии, данным маршрут сокращает перевозчикам путь из Азии в Северную Америку более чем на 13 тыс.км. Но в 2024 году судам приходилось вставать в очередь для прохода через Панамский канал. В канале упал уровень воды, из-за рекордной за 70 лет засухи в районе Панамского канала [9].

И дальнейшие погодные прогнозы не утешительны. В настоящее время «Глобальное потепление» - это уже не просто разговоры и научные предположения, это реальность, которая наблюдается и проявляется во всем мире, уже в каждом его уголке. По научным данным, климатические изменения в России особенно заметны в арктической зоне, где происходит потепление в два-три раза быстрее, чем где-либо на планете. В зоне арктических морей, по которым проходит Северный морской путь, особенно заметно потеплело в 2010-е годы, а пик пришёлся на 2012 год. Данные метеорологических станций побережья и островах северных морей показывают, что за последние 50 лет температура в Арктике зимой повысилась в среднем на 6 °С, летняя на 3 °С. С повышением температуры воздуха летом, происходит сокращение толщины ледового покрова. Средняя толщина льда в приполюсном районе Арктики с 1990-х годов уменьшилась в два раза [10].

С точки зрения развития Северного морского пути, тенденция повышения температуры и снижения толщины ледяного покрова, а в будущем возможное его отсутствие, увеличивают возможности проходимости судами ледовых участков и уменьшит стоимость перевозки [12]. Соответственно, увеличение грузопотоков потребует увеличения развития инфраструктуры, в том числе и для контейнерных перевозок. И на фоне неспокойных районов маршрута через Суэцкий канал (зоны военных рисков: Южно-Китайское море (Тайвань), Красное море (Хуситы),

Средиземное море (Палестина, Сирия); угроза пиратства: Сингапурский пролив), перевозки по Северному морскому пути выглядят не только экономически выгодными, но еще и безопасными. Но в связи с проведением специальной военной операции на Украине, многие недружественные страны ввели в отношении России санкции и отказались от многих совместных проектов, в том числе и от участия в развитии и использовании маршрутов Северного морского пути.

В связи с вводом в отношении России большого количества санкций со стороны недружественных государств, структура перевозок в нашей стране претерпела существенные изменения. Изменения коснулись не только внешних перевозок, но существенно отразились и на внутренних перевозках, доля которых существенно выросла. На период 2021 года доля внутренних перевозок составляла 30%, а уже в 2022 году составила 35%. Также изменились и транспортные потоки, они поменяли вектор перевозок с северо-запада на восток, так в 2021 году основной грузопоток приходился на Балтийское направление и составлял порядка 48%, на Дальневосточное направление – 36%, на направление Черноморского бассейна – 16%. По итогам 2022 года доля Северо-Западного направления снизилась до 27%, а доля Дальневосточного направления выросла до 56%, также возросла доля Южного направления до 18%. В 2023-2024 г.г. доли Южного и Дальневосточного направления продолжили рост, а на Северо-Западном направлении продолжили снижаться (табл. 1).

Таблица 1

Российский экспорт и импорт товаров, за период 2022-2024 гг. в млрд. долл. США, по группам стран (составлено авторами по данным ФТС России [12])

	Экспорт			Импорт		
	2022	2023	2024	2022	2023	2024
Весь мир	592,5	425,1	433,9	255,3	285,1	283,0
в том числе:						
ЕВРОПА	265,6	84,9	68,4	89,5	78,5	73,1
АЗИЯ	290,4	306,6	329,2	145,2	187,5	191,2
АФРИКА	14,8	21,2	24,3	3,1	3,4	3,5
АМЕРИКА	20,5	12,2	11,9	16,8	15,0	14,8
ОКЕАНИЯ	0,3	0,0	0,0	0,4	0,2	0,1

Данные изменения направлений перевозок грузов, требуют и изменений в инфраструктуре маршрутов перевозок. Так Минтранс России, в морском порту Оля расположенного в селе Оля Лиманского района Астраханской области (дельта реки Волги, на 67-м км Волго-Каспийского канала), - согласовал открытие нового пункта пропуска через границу, где будет осуществляется перевозка контейнерных и генеральных грузов, масла и зерна. В конце 2024 года подписан Акт о соответствии пункта пропуска Оля требованиям контроля (пограничного, таможенного и т.п). Оцениваемая пропускная способность пункта пропуска Оля, более 300 тыс. тонн грузов и до 100 судозаходов в год. На первоначальном этапе предполагается: обустроить терминальные мощности на 3 млн тонн, установить погрузочно-разгрузочное оборудование, создать железнодорожный и автомобильный пункты пропуска. Предполагаемая перевалка масленичных и масложировой продукции, должна составить 1500 тыс. тонн в год.

На втором этапе предполагается, в 4 км от существующего порта Оля, строительство нового порта, который расположится в районе ильменя Забурунный. Тут планируется постройка шести терминалов (в том числе контейнерные), которые будут оборудованы современными погрузочно-разгрузочными комплексами. Предполагаемая перевалка грузов должна достигнуть к 2030 году, - 6 000 тыс. тонн в

год. Территориальное расположение данной гавани позволит осуществлять круглогодичную работу порта с выходом на морские, речные, железнодорожные и автомобильные маршруты перевозки грузов, создавая так называемые мультимодальные схемы перевозок грузов. В 2024 году морской порт Оля увеличил перевалку в 1,7 раза, до 1 млн тонн., по данным регионального управления Россельхознадзора, из гавани отправлено на экспорт в Иран более 13 тыс. тонн зерна [5, 13]. Цель создания данного морского узла, - включение в логистические схемы потребителей, находящихся в бассейне Индийского океана. Таким образом порт Оля откроет для себя страницу мультимодальных грузовых перевозок (железнодорожно-водно-автомобильных) и за портом закрепляется статус, как «ворота Каспия».

Продолжается развитие морского торгового порта «Усть-Луга», как крупного торгового комплекса с широкой номенклатурой переработки навалочных, генеральных, зерновых, а также пищевых грузов, общим объемом до 24 млн тонн в год. Завершение строительства и начало эксплуатации терминала запланировано в 2025 году. Предполагается, что на терминале будет обслуживаться до 1100 вагонов в сутки, со станции Лужская-Генеральная. В 2024 году было полностью завершено строительство железнодорожной инфраструктуры, сданы в эксплуатацию дополнительно два причала, окончены работы по бетонированию береговой линии. Общая длина причального фронта составляет 1800 м., на причалах впервые установлен специальный револьверный спредер, который позволяет осуществлять разгрузку контейнеров для навалочных грузов с открытым верхом. Строительство ведется в соответствии со стратегическими документами развития транспортной инфраструктуры России. Инвестиционный проект также включен в новый федеральный проект «Развитие опорной сети морских портов» национального проекта «Эффективная транспортная система» [14 - 16].

Изменение направлений контейнерных перевозок отразились также на перевозках железнодорожным транспортом. В настоящее время наблюдается увеличение транзитных контейнерных перевозок по железной дороге, это связано несколькими факторами: рост напряженности и военных рисков при перевозках грузов по пути через Суэцкий канал и ростом ставок морского фрахта. Из-за чего происходит постепенная переориентация перевозок между Азией и странами Европы по маршрутам сети железных дорог. Для увеличения пропускной способности перевозки контейнеров в системе ОАО «РЖД» был разработан и опробован новый сервис контейнерных перевозок – «Контейнерный экспресс». Данный сервис позволяет ускорить время доставки контейнеров посредством увеличения скорости движения грузового поезда до 140 км/ч. Первый «Контейнерный экспресс» был отправлен 1 октября 2023 года, от станции Ворсино до пункта назначения в Новороссийск, со скоростью 1309 км в сутки. Развить данные скорости позволило внедрение новых 80-футовых вагонов-платформ. Тележки вагонов-платформ имеют инновационные и конструктивные особенности, они трехосные, это позволяет новой платформе быть более грузоподъемной (до 75 тонн) при меньшей нагрузке на инфраструктуру (20 тонн на ось). При этом использование трёхосных тележек снижает воздействие на путь без снижения грузоподъемности. Эти особенности позволяют развивать скорость составов до 140 км/ч, что дает возможность практически в два раза быстрее доставлять грузы, чем обычные контейнерные поезда. Этот сервис заинтересовал участников рынка, и его развитие предусмотрено в последующие годы, в том числе и на других направлениях [17].

По данным ОАО «РЖД», количество гружёных контейнеров, отправленных железнодорожным транспортом, в январе 2025 года достигло 490,1 тыс. 20-футового эквивалента (далее – ДФЭ), что на 10,8% больше, чем за январь 2024 года. Что свидетельствует о том, что грузоотправители отправляют всё больше номенклатур в контейнерах. Лидерами в январе 2025 года по динамике перевозки в контейнерах стали продукты перемола - 3,6 тыс. ДФЭ (рост в 1,5 раза), автомобили и

комплектующие - 42,3 тыс. ДЭФ (+30%), транспортировка зерна - 16,5 тыс. ДФЭ (+28,1%) и цветные металлы - 13,7 тыс. ДФЭ (+30%). Такой рост также обусловлен тем, что в 2024-м были ограничения провозной способности инфраструктуры в восточном направлении, а также у ОАО «РЖД» были обязательства вывезти на экспорт в восточном направлении 99,35 млн тонн угля. В текущем году твёрдое топливо экспортируется по железной дороге на общих основаниях, за исключением вывоза угля с Кузбасса в объёме 54,1 млн тонн [18].

Обсуждение

На наш взгляд преимущество контейнерных перевозок очевидно, контейнер легко перевозить авто, железнодорожным, речным и морским транспортом. В отличие от навалочных, сыпучих и наливных грузов, контейнеры легче грузить и разгружать, для них не надо специализированной техники и особых платформ, их можно компактно размещать, а соответственно экономить место и больше перевозить грузов. В контейнер легче собрать и перевезти сборные грузы. Груз можно сказать упакован в металлическую коробку, которая также является дополнительной защитой груза как от погодных явлений, так и внешних воздействий, кроме того, такой груз проще контролировать на различных этапах перевозки. Грузоотправители стали выбирать также контейнеры по причине того, что их стало быстрее доставлять организованными поездами, особенно с вводом сервиса «Контейнерный экспресс»: такой состав развивает скорость в 2–2,5 раза выше обычного грузового. Прирост перевозок в контейнерах также обусловлен двумя факторами: динамика внешнеторговых операций и переключение грузов с вагонов на контейнеры.

Контейнеризация перевозок грузов агропромышленного комплекса, особенно зерновых, демонстрирует стабильную динамику. Происходит увеличение перевозки зерновых грузов, за последние пять лет с Западно-Сибирской дороги ежегодно около 1,5 млн тонн зерновых грузов перевозится в контейнерах, в связи с этим растет число операторов и контейнерных площадок под эти грузы. Тенденция контейнеризации грузов агропромышленного комплекса, связана с тем, что мировая торговля зерном – это прежде всего морская доставка, а до портов контейнеры в основном доставляются железнодорожным транспортом. Переформатирование продаж с торговли на сухопутных границах на продажи по схеме «от завода к заводу» – это и есть драйвер роста контейнеризации. Сегодня большая доля контейнерных поставок зерна идёт в Китай, вместе с тем объёмы поставок зерна в контейнерах растут благодаря открытию новых рынков и маршрутов. Так, в 2025 году контейнерное сообщение по перевозке зерна открыто с вьетнамскими портами Ханой и Хошимин [18]. Надо отметить, что контейнеризация касается не только перевозок зерна в контейнерах, данная тема развивается с 2021 года, когда резко свое развитие получила инициатива – перевозка угля, а также других насыпных и навалочных грузов в контейнерах [19]. Перевозка в контейнерах решает проблему смерзшегося угля при перегрузке на пограничных станциях из российских вагонов в иностранные. Контейнеры же легко разместить для временного хранения на площадках, а при погрузке легко переставить контейнер с одной транспортной платформы на другую. Что в значительной мере ускоряет процесс отправки угля на экспорт в восточном направлении и это так же указывает на необходимость развития контейнерных перевозок в нашей стране.

Необходимости развития контейнерных перевозок, также отражена в «Транспортной стратегии России до 2035 года» (далее – Стратегия), где отражено, что уровень контейнеризации в России в 2020 году составил 11,4 % объемов потенциально контейнеризируемой погрузки, это ниже чем в других странах, таких как США - 18%, ФРГ - 22%, Китай – 17%, Индия – 12%. Отставание обусловлено исторически сформировавшейся структурой производства и погрузки в России, как тяготеющей к сырьевым навалочно-наливным грузам и соответственно созданию железнодорожной инфраструктуры под данные грузы. Стратегия предусматривает

возможность повышения уровня контейнеризации в 1,5 - 2 раза, с доведением до 16-20 % от всего объема контейнерных погрузок. По некоторым категориям грузов контейнеризацию можно повысить в 3 - 4 раза, это касается продукции сельского хозяйства и лесной продукции. Стратегией также предусматривается, что до 2035 года факторами, способствующими росту контейнеризации, могут стать: развитие секторов машиностроения и медицины; глубокая переработка сырьевых грузов; развитие сети транспортно-логистических центров и повышение качества комплексных логистических услуг; увеличение скорости движения контейнерных поездов; развитие контейнерных перевозок с использованием внутренних водных путей; увеличение транзитных перевозок грузов [20].

Заключение

Из приведенного материала мы видим, что контейнеризация в настоящее время необходима, спрос на данные перевозки растет и связано это с тем, что основные грузопотоки ориентированы на Восток, а логистическая инфраструктура стран Тихо-Азиатского региона, ставшими драйверами спроса, сильнее развита и интегрирована на морские перевозки, в которых все большие значения занимает контейнеризация отправок.

На фоне реализуемых санкций со стороны недружественных государств в отношении Российской Федерации, развитие смешанных (мультимодальных) перевозок во взаимодействии водных и железнодорожных путей, развитие инфраструктуры перевозок и транспортно-логистических центров с наличием водных портов, железнодорожных станций и автомобильных терминалов, привлечение отечественной продукции и расширение поставок продукции агропромышленного комплекса, позволит значительно расширить географию экспорта российской продукции, увеличить транспортировку контейнерных грузов в дружественные страны Азиатско-Тихоокеанского региона и Африки. Развитие Северного морского пути, позволит обрести нашей стране статус, как обладающей одним из мировых транспортных коридоров.

Реализация запланированных программ и слаженная работа в данных направлениях, существенно укрепит транспортную систему России, позволит отработать новые логистические маршруты, развить транспортную инфраструктуру, повысить контейнеризацию перевозок и в случае снятия санкций даст возможность выйти на мировой рынок с конкурентными предложениями перевозки и транзита грузов. Что в значительной мере положительно отразится на укреплении России в мировом масштабе, как одного из центров многополярного мира.

Список литературы

1. Реконфигурация географии торговли и цепочек поставок: последствия для торговли, глобальных цепочек создания стоимости и морского транспорта / Конференция Организации Объединенных Наций по торговле и развитию Совет по торговле и развитию ООН, Комиссия по торговле и развитию // Тринадцатая сессия, Женева, 21–25 ноября 2022 года, Пункт 7 предварительной повестки дня. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://unctad.org/system/files/official-document/cid54_ru.pdf (дата обращения 10.03.2025).
2. В поисках баланса. Как развиваются контейнерные перевозки в России и мире / Информационный портал СБЕР Про, 26 апреля 2024. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://sber.pro/publication/v-poiskah-balansa-kak-razvivayutsya-konteinernie-perevozki-v-rossii-i-mire/?ysclid=m8pw4fot3p137044357> (дата обращения 10.03.2025).
3. Энн Керриу Контейнеры: перевозки из крупнейших портов мира в 2022 году / Э.Керриу // Информационный портал оператора Upply. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://market-insights.upply.com/en/containers-traffic-from-the-worlds-major-ports-in-2022#:~:text=Globally%2C%20Asian%20ports%20account%20for,and%207.3%25%20for%20European%20ports> (дата обращения 12.03.2025).

4. Елизавета Скобцова Суэцкий канал перегрузили атаками \Е.Скобцова //Информационный портал Коммерсантъ, 17.12.2023. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/6410237> (дата обращения 12.03.2025).
5. Чеботарев С.С. Принципиальный взгляд на систему стратегического планирования и управления в промышленности Российской Федерации. «Цифра» - реальность, меняющая мир: готовность российской экономики к новым правилам игры» 13/2019/ материалы Национальной научно-практической конференции.2019. - С.186-190.
6. Чеботарев, С.С. Экономическая оценка создания логистического оператора на международном транспортном коридоре «Север - Юг» / С. С. Чеботарев, Н.И. Пугачев // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2024. – Том 14. № 7 А. – С. 333 – 343.
7. Чеботарев, С.С. Основные задачи транспортной отрасли в сфере повышения качества и доступности логистических услуг для российского потребителя / С. С. Чеботарев, И.В. Бондарь // Экономика: вчера, сегодня, завтра –2024. – Том 14. № 6А.–С. 230 – 240.
8. Чеботарев, С.С. Теоретические модели процессов функционирования логистических систем транспорта с учетом оценки показателя затрат / С. С. Чеботарев // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2024. – Том 14. № 7 А. – С. 344 – 351.
9. Семен Башкиров. Как изменение климата влияет на Панамский канал и цены на товары, /С.Башкиров //Информационный портал РБК, 12.01.2024. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/green/65a106c19a79473115bdffde> (дата обращения 12.03.2025).
10. Глобальное потепление – это реальность: директор ААНИИ — о влиянии климатических изменений на Северный морской путь /Информационный портал Russia Today, 29 сентября 2023. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://russian.rt.com/science/article/1209044-severnyi-morskoi-put-intervyu-klimat/amp> (дата обращения 12.03.2025).
11. Ховкина К.В., Основные направления развития отрасли контейнерных перевозок к 2050 году /К.В. Ховкина //Международный научный журнал «Вестник Науки» №1(46) Т.3, 2022. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnyu-napravleniya-razvitiya-otrasli-konteynernih-perevozok-k-2050-godu/viewer> (дата обращения 12.03.2025).
12. Официальный сайт ФТС России. [Электронный ресурс] URL: <https://customs.gov.ru/statistic/vneshn-torg/vneshn-torg-countries> (дата обращения 22.03.2025).
13. Богдан Чайковский, Дмитрий Коптев Оля усилит МТК Север – Юг /Б. Чайковский, Д. Коптев //Ежедневная транспортная газета ГУДОК, 29.01.2025 № 11 (28026). [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://gudok.ru/newspaper/?archive=2025.01.29> (дата обращения 22.03.2025).
14. Ольга Овсянкина Портам прибавят конкурентоспособности /О. Овсянкина //Всероссийская транспортная еженедельная информационно–аналитическая газета «Транспорт России» № 8 (1387) 17 – 23 февраля 2025 года. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://transportrussia.ru/razdely/morskoy-transport/12200-portam-pribavyat-konkurentosposobnosti.html> (дата обращения 22.03.2025).
15. Чеботарев, С.С. 3.Логистика инвестиций: оценка «эффективности» и эффективность оценки дисконтированных денежных потоков / С. С. Чеботарев // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2024. – Том14. № 4-1. – С. 245-255.
16. Чеботарев, С.С. Логистика инновационных рисков в парадигме действия основных экономических законов / С. С. Чеботарев, Б.В. Проскурин // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2024. – Том 14. № 4-1. – С. 235-244.
17. Холдинг развивает контейнерные перевозки /Ежедневная транспортная газета ГУДОК, 29.09.2024 № 2. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://gudok.ru/vestnik-ti/?ID=1681224> (дата обращения 22.03.2025).
18. Богдан Чайковский, Стартовали с отличными показателями /Б. Чайковский //Ежедневная транспортная газета ГУДОК, 10.02.2025 № 17 (28032). [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://gudok.ru/newspaper/?archive=2025.02.10> (дата обращения 25.03.2025).
19. Наталья Гусаченко Перевозка угля и других насыпных грузов в контейнерах: новая универсальность или новые сложности /Н. Гусаченко //Информационное агентство РЖД-Партнер.ру,19.03.2021. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/comments/perevozka-uglya-i-drugikh-nasyunnykh-gruzov-v-konteynerakh-novaya-universalnost-ili-novye-slozhnosti/> (дата обращения 25.03.2025).

20. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 года №3363-р «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года».

References

1. Reconfiguring the geography of trade and supply chains: implications for trade, global value chains and maritime transport /United Nations Conference on Trade and Development United Nations Trade and Development Board, Commission on Trade and Development //Thirteenth session, Geneva, November 21-25, 2022, Item 7 of the provisional agenda. [electronic resource]. - Access mode: https://unctad.org/system/files/official-document/cid54_ru.pdf (accessed 03/10/2025).
2. In search of balance. How container transportation is developing in Russia and the world /Information portal BEBER Pro, April 26, 2024. [Electronic resource]. - Access mode: <https://sber.pro/publication/v-poiskah-balansa-kak-razvivayutsya-konteynernie-perevozki-v-rossii-i-mire/?ysclid=m8pw4fot3p137044357> (accessed 03/10/2025).
3. Anne Kerriou Containers: Transportation from the largest ports in the world in 2022/ E.Kerriou //Information portal of the Upply operator. [electronic resource]. - Access mode: <https://market-insights.upply.com/en/containers-traffic-from-the-worlds-major-ports-in-2022#:~:text=Globally%2C%20Asian%20ports%20account%20for,and%207.3%25%20for%20European%20ports> (accessed 12.03.2025).
4. Elizaveta Skobtsova The Suez Canal was overloaded with attacks.Skobtsova //Information portal Kommersant, 12/17/2023. [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.kommersant.ru/doc/6410237> (accessed 12.03.2025).
5. Chebotarev S.S. A principled view on the system of strategic planning and management in the industry of the Russian Federation. Digit is a world-changing reality: the Russian economy's readiness for new rules of the game" 13/2019/ Proceedings of the National Scientific and Practical Conference. 2019. pp.186-190.
6. Chebotarev, S.S. Economic assessment of the creation of a logistics operator on the international transport corridor "North-South" / S. S. Chebotarev, N..And. Pugachev // Economics: yesterday, today, tomorrow. – 2024. – Volume 14. No. 7 A. – S. 333 – 343.
7. Chebotarev, S.S. The main tasks of the transport industry in the field of improving the quality and accessibility of logistics services for the Russian consumer / S. S. Chebotarev, I.V. Bondar // Economics: yesterday, today, tomorrow. – 2024. – Volume 14. No. 6 A. – S. 230-240.
8. Chebotarev, S.S. Theoretical models of the processes of functioning of logistics systems of transport, considering cost estimates / S. S. Chebotarev // Economics: yesterday, today, tomorrow. – 2024. – Volume 14. No. 7 A. – pp. 344-351.
9. Semyon Bashkirov How climate change affects the Panama Canal and commodity prices./S.Bashkirov //RBC information portal, 12.01.2024. [Electronic resource]. - Access mode: <https://trends.rbc.ru/trends/green/65a106c19a79473115bdffde> (accessed 12.03.2025).
10. Global warming is a reality: Director of the AARI — on the impact of climate change on the Northern Sea Route /Information Portal Russia Today, September 29, 2023. [Electronic resource]. - Access mode: <https://russian.rt.com/science/article/1209044-severnyi-morskoi-put-intervyu-klimat/amp> (accessed 12.03.2025).
11. Khovkina K.V., The main directions of development of the container transportation industry by 2050 /K.V. Khovkina //International Scientific Journal "Bulletin of Science" No. 1(46) vol.3, 2022. [electronic resource]. - Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-razvitiya-otrasli-konteynernyh-perevozok-k-2050-godu/viewer> (accessed 12.03.2025).
12. Official website of the Federal Customs Service of Russia. [Electronic resource] URL: <https://customs.gov.ru/statistic/vneshn-torg/vneshn-torg-countries> (accessed 22.03.2025).
13. Bogdan Tchaikovsky, Dmitry Koptev, Olya will strengthen the North–South MTC. Tchaikovsky, D. Koptev //Daily transport newspaper GUDOK, 29.01.2025 No. 11 (28026). [electronic resource]. - Access mode: <https://gudok.ru/newspaper/?archive=2025.01.29> (date of application 03/22/2025).
14. Olga Ovsyankina Ports will gain competitiveness. Ovsyankina //All–Russian transport weekly information and analytical newspaper "Transport of Russia" No. 8 (1387) February 17-23, 2025. [electronic resource]. - Access mode: <https://transportrussia.ru/razdely/morskoj-transport/12200-portam-pribavyat-konkurentosposobnosti.html> (accessed 22.03.2025).

15. Chebotarev, S.S. 3. Logistics of investments: assessment of "efficiency" and effectiveness of discounted cash flow assessment / S. S. Chebotarev // Economics: yesterday, today, tomorrow. – 2024. – Vol. 14. No. 4-1. – pp. 245-255.
16. Chebotarev, S.S. Logistics of innovation risks in the paradigm of basic economic laws / S. S. Chebotarev, B.V. Proskurin // Economics: yesterday, today, tomorrow. – 2024. – Volume 14. № 4-1. – pp. 235-244.
17. The holding develops container transportation /Daily transport newspaper GUDOK, 09/29/2024 № 2. [Electronic resource]. - Access mode: <https://gudok.ru/vestnik-tl/?ID=1681224> (accessed 22.03.2025).
18. Bogdan Tchaikovsky, We started with excellent results. Tchaikovsky //Daily transport newspaper GUDOK, 02/10/2025 No. 17 (28032). [electronic resource]. - Access mode: <https://gudok.ru/newspaper/?archive=2025.02.10> (accessed 03/25/2025).
19. Natalia Gusachenko Transportation of coal and other bulk cargoes in containers: new versatility or new difficulties. Gusachenko //The Russian Railways Partner News Agency. <url>, 03/19/2021. [electronic resource]. - Access mode: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/comments/perevozka-uglya-i-drugikh-nasypanykh-gruzov-v-konteynerakh-novaya-universalnost-ili-novyie-slozhnosti/> (accessed 03/25/2025).
20. Decree of the Government of the Russian Federation dated 11/27/2021 No. 3363-r "On Approval of the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035".

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Чеботарев Владислав Стефанович, Доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник кафедры экономики и менеджмента ФГБОУ ВО ВГУВТ (603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5), e-mail: vschebotarev@rambler.ru

Пешехонов Павел Николаевич, Начальник отдела качества и работы с обращениями граждан АО «Северо-Западная пригородная пассажирская компания» (190068, г. Санкт-Петербург, Римского-Корсакова пр., д. 47, лит. А), e-mail: orb.pfo@mail.ru

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, e-mail: pyzhova.zu@vsuwt.ru

Дорожкин Артем Владиславович, к.э.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий и инструментальных методов в экономике института экономики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород (Россия), e-mail: dorozhkin_av@unn.ru

Vladislav S. Chebotarev, Doctor of Economics, Professor, Chief Researcher of the Department of Economics and Management, Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail: vschebotarev@rambler.ru

Pavel N. Peshekhonov, Head of the Department of Quality and work with citizens' appeals of JSC «North-Western Suburban Passenger Company» 190068, St. Petersburg, Rimsky-Korsakov ave., 47, lit. A), e-mail: orb.pfo@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, Volga State University of Water Transport, 5 603951, Nizhny Novgorod, st Nesterova, e-mail: pyzhova.zu@vsuwt.ru

Artyom V. Dorozhkin, PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technology and Instrumental Methods in Economics, Institute of Economics, National Research University of Nizhny Novgorod named after N.I. Lobachevsky, Nizhny Novgorod (Russia), e-mail: dorozhkin_av@unn.ru

Статья поступила в редакцию 01.04.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 01.04.2025; published online 20.06.2025.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ, СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

WATER TRANSPORT OPERATION, WATERWAYS COMMUNICATIONS AND HYDROGRAPHY

УДК 658.5

DOI:10.37890/jwt.vi83.595

Моделирование работы барже-буксирных составов на регулярной речной контейнерной линии

Д.И. Авдонин

А.А. Лисин

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

Аннотация. В статье представлена модель расстановки несамоходного флота, охватывающая перевозку универсальных контейнеров и сопутствующие процессы, такие как шлюзование и стоянка на рейде. Особое внимание уделено согласованию расписания прибытия и отправления составов, поскольку они являются неотъемлемой частью оптимизации работы буксиров-толкачей по условию минимальных простоев из-за ожидания.

Рассматриваются параметры гидротехнических сооружений и водных путей, влияющие на схему формирования состава и продолжительность транспортных операций. Для повышения точности расписания учитываются особенности работы шлюзов и возможные задержки, вызванные необходимостью формирования состава с максимальной провозной способностью (грузоподъемностью).

Предложенная модель позволяет рассчитать потребность в несамоходном флоте и толкачей, что обеспечивает транспортную связь между всеми пунктами отправления на условиях регулярной работы грузовых судов по расписанию.

Использование разработанной модели позволяет повысить пропускную способность гидротехнических сооружений, минимизировать простой судов, переключить часть внешнеторговых грузов на речной транспорт и повысить эффективность работы портовых контейнерных терминалов. Полученные результаты могут быть использованы для организации работы флота судоходных компаний, портовых операторов и логистических центров, заинтересованных в оптимизации процессов речных перевозок.

Ключевые слова: шлюзование, барже-буксирные составы, универсальный контейнер, отправление по расписанию, моделирование, согласование времени.

Simulation of multi-barge tow operating on a river regular container line

Dmitry I. Avdonin

Alexander A. Lisin

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

Abstract. The article presents a model for the deployment of barges, covering the container transportation and related processes such as locking and port-raid operation. Special attention is paid to coordinating the arrival and departure schedules of river ships, as they are an integral part of optimizing the operation of tows for minimal downtime due to waiting.

The parameters of hydraulic structures and waterways that affect the formation pattern and duration of transport operations are considered. To improve the accuracy of the schedule, the specifics of the locks' operation and possible delays caused by the need to form a multi-barge tow with the maximum carrying capacity (load capacity).

The proposed model makes it possible to calculate the need for a barges and tows, which ensures transport links between all ports of departure on a regular schedule.

This model makes it possible to increase the capacity of hydraulic structures, minimize ship downtime, switch foreign trade cargo to river transport and increase the efficiency of port container terminals. The results obtained can be used to organize the fleet of shipping companies, port operators and logistics centers interested in optimizing river transportation processes.

Keywords: locking, multi-barge tow operating, universal container, scheduled departure, simulation, time coordination.

Введение

Моделирование работы барже-буксирных составов начинается в известной логике обоснования и оценки грузовой базы грузоотправителей, тяготеющих к водному транспорту. В первую очередь рассматривается номенклатура экспортных и импортных грузов, цепочка поставок которых замыкается на морские порты Балтийского, Каспийского и Азово-Черноморского бассейнов. Планируемый объем перевозок грузов в универсальных крупнотоннажных контейнерах измеряется в условных грузовых единицах двадцатифутового эквивалента (далее ДФЭ). Организация работы регулярной речной контейнерной линии в нашем случае должна опираться на узловые речные порты, обеспечивающие обработку внешнеэкономических грузов на собственных контейнерных терминалах.

Рассмотрим транспортно-технологическую схему доставки экспортно-импортных грузов на примере проекта Нижегородского мультимодального логистического центра (далее - МЛЦ) в рамках существующих транспортных коридоров. Схема представлена на рис. 1.



Рис.1. Транспортно-технологическая схема доставки экспортно-импортных грузов через проектируемый Нижегородский МЛЦ в рамках существующих транспортных коридоров

Грузы из зоны обслуживания (20 областей) повагонными отправлениями и автопоездами поступают в проектируемый Нижегородский МЛЦ. МЛЦ имеет статус порта-сателлита с встроенной в технологический процесс таможенной инфраструктурой. Неконтейнеризированные грузы на участках контейнеризации МЛЦ перегружаются в контейнеры. На площадках порта контейнерные партии накапливаются до размера контейнерного поезда 71 условный вагон (примерно 120 ДФЭ) или судовой отправки - 200 ДФЭ по трем направлениям: Санкт-Петербург, Новороссийск (ТК "Восток-Запад"), Астрахань, Оля, Махачкала и Иранские порты в навигацию (ТК "Север-Юг"). На территории МЛЦ формируются контейнерные поезда-шаттлы, курсирующие между МЛЦ и морскими портами. Отправляются назначением в морские порты контейнерные суда. В морских портах контейнерные поезда-шаттлы и суда загружаются импортными грузами и порожними контейнерами назначением в пункты 20 областей зоны обслуживания МЛЦ. Из портов Санкт-Петербург и Новороссийск контейнеры следуют по сложившимся морским контейнерным линиям. Программами развития ТК Север-Юг предусматриваются транзитная сухопутная инфраструктура по территории Ирана и контейнерный сервис в порту Бендер-Аббас. Таким образом, контейнеры, отправленные на экспорт через МЛЦ, посредством индийских, китайских, иранских морских контейнерных линий будут доставляться из порта Бендер -Аббас в Восточную Африку, Индию, Китай и др. страны.

Прибывающие в МЛЦ контейнерные поезда-шаттлы и суда разгружаются на контейнерные площадки МЛЦ для дальнейшей отправки получателям железнодорожным и автомобильным транспортом. В МЛЦ может производиться процедура таможенной очистки. При необходимости товары из импортных контейнеров могут перегружаться в крытый склад и отпускаться мелкими партиями.

В межнавигационный период МЛЦ работает только по формированию поездов-шаттлов. Суда либо продолжают работать в незамерзающих морях, либо становятся на зимний отстой и ремонт.

В таблице 1 на основе проведенного анализа экспортных грузопотоков приведены данные по существующим экспортным грузопотокам в направлении портов Балтики, Черного и Каспийского морей, часть из которых может быть обработана в Нижегородском МЛЦ. [4]

Таблица 1

Существующие экспортные грузопотоки

Виды грузов	Существующий экспорт, тыс. т./год
Изделия из черных металлов	12
Тара стеклянная	12
Изделия мукомольные	30
Масло подсолнечное	36
Моющие средства	36
Масла моторные	38
Антифриз, Тосол	40
Бумага, целлюлоза	56
Стекло, теплоизол.	58
Прочие	60
Пластмассы и изделия из них	72
Плитки керамические, линолеум, рубероид	96
Каучук, резина	180
Кокс нефтяной	348
Неорганическая химия	384

Плиты ДВП, ДСП, изделия из древесины	516
Пиломатериалы, фанера, шпон	660
Кокс	888
Лес круглый	1212
Удобрения химические	1236
Чугун	1272
Сталь, прокат, трубы	2412
Всего	9655

Из данных таблицы видно, что потенциал грузопотоков составляет 9,7 млн т в год.

Количественная оценка грузопотоков, порождаемых приоритетными инвестиционными проектами, не представляется возможным, нет данных.

Поэтому к перспективным грузопотокам, учтенным в проекте, отнесены:

- экспортный грузопоток зерна из Нижегородской и соседних областей в Иран в объеме 350 тыс. т в год. В настоящее время ведутся переговоры о создании зернового терминала;
- импортный грузопоток металла из Ирана в Нижний Новгород в объеме 350 тыс. т. В настоящее время ведутся переговоры о создании в Н. Новгороде причала для приема импортного металла и производственной базы для его переработки в готовую продукцию-трубы.

Таким образом, кроме привлечения в проектируемый МЛЦ существующих экспортно-импортных грузопотоков, в проекте необходимо учесть дополнительно 700 тыс. т от инвестиционных проектов.

Основу для определения номенклатуры и количества грузов, входящих в грузовую базу проектируемого МЛЦ составляют данные по существующим грузопотокам, подходящим для частичного освоения в проектируемом МЛЦ и известные данные по инвестиционным проектам.

Грузовая база в таблице 2 определена с учетом того, что по федеральному проекту «Транспортно-логистические центры», в рассматриваемом регионе тяготения к проектируемому МЛЦ будут созданы 2 Московских Транспортно-Логистических Центров (далее ТЛЦ), Казанский ТЛЦ, Самарский ТЛЦ и Нижегородский ТЛЦ. Потенциал Нижегородского МЛЦ по экспорту принят пропорционально, как 1/5 от существующего объема экспорта.

Таблица 2

Грузовая база МЛЦ по экспортным грузам

Виды грузов	Существующий экспорт, тыс. т./год	Доля МЛЦ (20%), тыс. т.	Грузовая база МЛЦ, ДФЭ*
Изделия из черных металлов	12	2	141
Тара стеклянная	12	2	141
Изделия мукомольные	30	6	353
Масло подсолнечное	36	7	424
Моющие средства	36	7	424
Масла моторные	38	8	452
Антифриз, Тосол	40	8	466
Бумага, целлюлоза	56	11	664
Стекло, теплоизол.	58	12	678
Прочие	60	12	706
Пластмассы и изделия из них	72	14	847
Плитки керамические, линолеум,	96	19	1129

рубероид, шифер			
Каучук, резина	180	36	2118
Кокс нефтяной	348	70	4094
Неорганическая химия	384	77	4518
Плиты ДВП, ДСП, изделия из древесины	516	103	6071
Пиломатериалы, фанера, шпон	660	132	7765
Кокс	888	178	10447
Лес круглый	1212	242	14259
Удобрения химические	1236	247	14541
Чугун	1272	254	14965
Сталь, прокат, трубы	2412	482	28376
Всего	9655	1931	113576
*Средняя нагрузка на 1 контейнер- 17 т. груза			

Грузовая база МЛЦ по экспорту- 1,9 млн т, или 114 тыс. ДФЭ.

Количество импортных контейнеров должно соответствовать количеству экспортных контейнеров- 114 тыс. ДФЭ. С учетом сложившегося в зоне обслуживания соотношения импорт/экспорт= 6,7млн т./9,7млн т.= 0,69, количество порожних контейнеров в общем потоке импорта составит 35 тыс. ДФЭ, а груженых- 79 тыс. ДФЭ.

Развитие портовой инфраструктуры является одним из приоритетных направлений совершенствования логистических схем в большинстве стран мира. Это связано с ростом объемов международной торговли, развитием глобальных цепочек поставок и необходимостью обеспечения эффективной логистики. В связи со сложной международной обстановкой, внутренние потоки будут замыкаться на внутренние маршруты и грузы, возможно, необходимо перенаправить их, в том числе на водный транспорт. Если сравнить отечественные и зарубежные речные порты, то следует отметить, что в России они находятся в худшем положении. При этом, контейнерооборот морских портов России в 2023 году составил 4,96 млн. TEU, что на 15% больше показателя 2022 года. [12]

Методы

В науке об эксплуатации речного флота значительное внимание всегда уделялось способам (формам) организации работы грузовых составов. Сложность выбора организационно-технологического решения для грузовых составов (по сравнению с грузовыми теплоходами) обусловлена тем, что состав включает в себя несколько судов (толкач и баржи), работа которых требует согласования. [10]

Исходя из проведенных исследований грузовой базы приходим к выводу что, баржи для барже-буксирного состава следует выбрать небольшой грузоподъемности и вместимости по контейнерам (например, 600 тонн или 30 ДФЭ), а так как грузов мелкой партии очень много то составы будут многосекционные: 4, 6, 9 или 12 секций. Размер состава должен вписываться в габариты камеры шлюза. Основная идея - это максимальное использование пропускной способности гидротехнических сооружений при минимальном количестве шлюзований. На рис.2 представлены схемы формирования составов

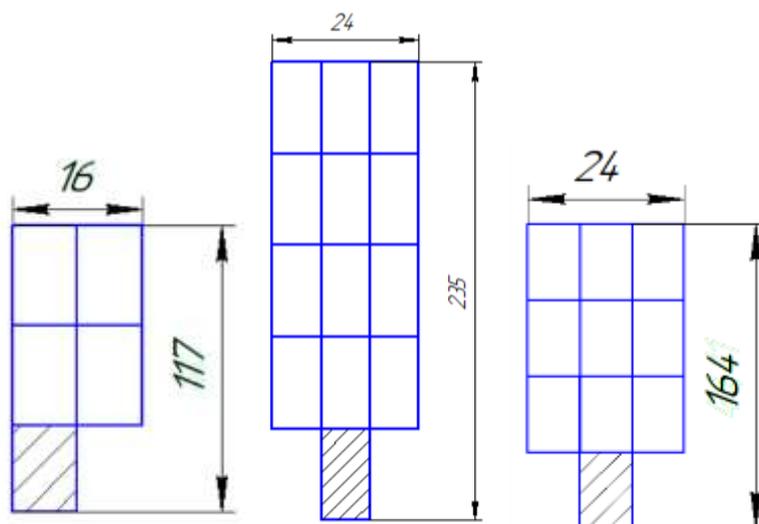


Рис.2. Схемы формирования и размеры барже-буксирных составов, м

Тип флота для модели барже-буксирных составов

Работа баржебуксирных составов будет осуществляться по принципу эстафеты по технологии «раскрепления тяги и тоннажа». Выбираются точки смены толкача и переформирования состава по критерию согласованности по времени прибытия и отправления. За основу модели будет состав, состоящий из толкача большей мощности пр.00443 и 12 секций пр.RBD 4608, форма счала Т+3+3+3+3. В табл.3 представлены характеристики секции пр. RBD 4608.[7]

Таблица 3

Характеристики секции пр.RBD 4608

Наименование показателя	Номер проекта
	RBD 4608
Тип судна	Несамоходная трюмная баржа для вождения методом толкания. перевозка минерально-строительных материалов, различных тарно-штучных грузов, контейнеров в трюме судна, перевозка зерна насыпью.
Класс РРР	«О 2.0 лед»
Регистровая грузоподъемность, т	600
Длина, м	47
Ширина, м	8
Высота борта, м	3,5
Размеры трюма, м	37,2x6,4
Осадка в грузу (нос/корма) , м	2,5
Осадка порожнем (нос/корма) , м	0,4
Приведенное сопротивление (порожнем: с полн. загр:), кг*с ² /м ²	100
	160

В табл. 4 представлены характеристики толкача пр.00443.[6]

Таблица 4

Характеристики толкача пр.00443

Наименование показателя	Номер проекта
	00443
Тип Судна	Толкание и буксировка несамоходных судов, сухогрузных и нефтеналивных барж, в том числе, двухниточных составов.
Район плавания	Водные бассейны класса «М»
Класс РРР	«М»
Мощность л.с	2700
Длина, м	47
Ширина, м	14
Высота борта, м	3,5
Осадка, м	2,3
Скорость без состава км/ч	20
Экипаж, мест	10
Автономность плавания, сут	12

Также для работы потребуется толкач меньшей мощностью для толкания 4 и 9 секций. Форма счала для состава из 9 секций Т+3+3+3, для состава из 4 секций Т+2+2. Для этого подойдет толкач пр. ТСК-395, характеристики, которые представлены в табл.5 [5]

Таблица 5

Характеристики толкача проекта ТСК-395

Наименование показателя	Ед. изм.	Номер проекта
		ТСК-395
Тип Судна		Буксир-толкач предназначен для буксировки сухогрузных барж, в том числе методом толкания.
Район плавания		Водные бассейны класса «О»
Класс РРР		«О»
Мощность	л.с	630
Длина	м	22,3
Ширина	м	7,4
Высота борта	м	2,84
Осадка	м	1,5
Скорость без состава	км/ч	17
Экипаж	мест	8
Автономность плавания	суток	4,5

На рисунках 3, 4, 5 представлен вид секции и толкачей для работы в модели барже-буксирного состава.



Рис. 3. Секция пр. RBD 4608



Рис. 4. Толкач пр. ТСК-395



Рис. 5. Толкач пр .00443

Требования к портам

Анализ грузовой базы показал, что потенциальные грузоотправители готовы регулярно предлагать к перевозке относительно небольшие партии грузов от 200 до 400 тн. или от 15 до 50 ДФЭ в месяц.

В нашей модели будут рассматриваться 2 вида портов (контейнерных терминалов), отличающиеся территорией накопления контейнеров и обработки контейнеров:

- Узловой (основной) порт
- Порт – спутник

Основной функцией узлового порта является распределение контейнеров по регулярным линиям отправления.

Учитывая, что порты традиционно в приоритете имели задачу грузопереработки продукции речного транспорта при сокращении времени обработки транспортных средств, то сложившаяся ситуация привела к ряду проблем, среди которых, например, значительное недоиспользование как складских площадей, так и возможностей перегрузочной техники [9]. Порт – спутник привязан к конкретному узловому порту, для организации подвоза контейнеров и их отправления многосекционным составом.

В нашем случае для секций, прибывших из порта – спутника погрузо-разгрузочные работы на причале не нужны. Формирование многосекционных составов производится на рейде узлового порта.

Схема отправления регулярных отправок

Гипотеза:

1. У состава максимальная провозная способность, также максимальная наполняемость камеры шлюзов.

При движении состава по линии на пути встречаются шлюзы. Габариты камер шлюзов составляет 290х30м. Учитывая сравнение пропускной способности шлюзов в СССР и в настоящее время, можно сказать что в настоящее время за период навигации пропускная способность шлюзов упала почти в 2 раза.

2. На линии у составов максимальная валовая производительность работы флота.

Для того чтобы обеспечить максимальные показатели валовой производительности необходимо учитывать следующие факторы [1 2]:

- Расписание шлюзования согласовано с пассажирскими компаниями.
- На всех шлюзах происходит каждый день траление камер с 6:00 до 9:00, следовательно, самое раннее шлюзование может быть с 3:00 до 5:00.
- Рейды согласованы для переформирования составов.

Поскольку для нашей модели основным требованием является согласование времени прибытия и отправления составов, предлагаем стыковать участки внутренних водных путей с близкими характеристиками, а именно [3]:

- Гарантированная глубина
- Протяженность участка
- Количество шлюзов

Если совместить описание грузовой базы и требования к участкам водных путей то, роль узловых портов могут играть порт Нижний Новгород, порт Камбарка, порт Октябрьск (Самара). Время отправления из этих портов может быть согласовано по прибытию в Камское Устье, потому что расстояние между портами примерно 460 км и на участке находится 1 шлюз, соответственно Чебоксарский, Нижнекамский, Куйбышевский гидроузел.

Вывод: Схема регулярных отправок на водном транспорте возможна при соблюдении всех учитывающих факторов.

Модель работы барже-буксирных составов на регулярной контейнерной линии

На первом подготовительном этапе при необходимости вносятся изменения условий плавания (глубин судового хода, скорости течений) и продолжительности времени технологических операций. На втором этапе планирования осуществляется прогнозирование работы судов на заданный период. Алгоритм прогнозирования состоит из ряда шагов и на каждом шаге производится отбор судов, которые могут быть включены в план отправлений грузов. На третьем этапе выполняется согласование предварительного плана отправления с судовладельцами (фрахтователями). На этом этапе совместно согласовываются самые различные ситуации: могут быть освоены не все заявки, могут быть не назначенные суда и т.д.[13] На рис.6 представлена схема линий работы флота модели «У».

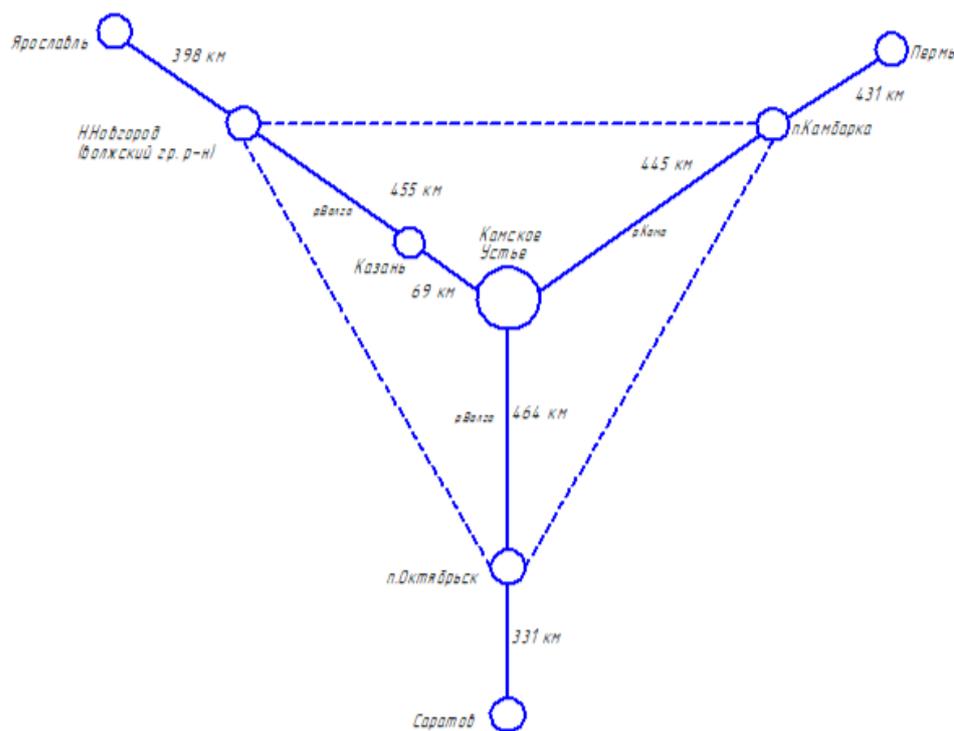


Рис. 6. Схема линий работы флота модели «У».

Характеристики:

1. Короткое плечо, порт-спутник, 1 шлюз на коротком плече. Порт спутник – это порт который перегружает груз на суда для конкретного узлового порта. Для порта г. Нижний Новгород – порт спутник Ярославль, для п. Октябрьск – п. Саратов, для п. Камбарка – п. Пермь.
2. Длинное плечо – транзит от переформирования до переформирования состава. Среднее расстояние между транзитными пунктами составляет ≈ 460 км. Если обратить внимание на схему, то можно увидеть фигуру равностороннего треугольника. Одинаковое расстояние между пунктами позволяет улучшить планирование работы флота, задавая ритм движения баржебуксирных составов.
3. Близкие по расстоянию плечи, можно обеспечить синхронность работы.

Результаты

Представленная выше схема позволяет связать грузопотоки Средней Волги, Верхней Волги и Камы в регулярные линии, где Камское Устье (место переформирования составов) выполняет роль «перекрестка» для регулирования движения с одного бассейна на другой. Схема единой глубоководной системы Европейской части России позволяет выделить несколько таких «перекрестков» для стыковки грузопотоков по следующим участкам водных путей (рис. 7):

- Нижняя Волга – Средняя Волга – река Дон могут быть связаны в районе Волгограда, рядом со входом в Волго-Донской канал.
- Канал им. Москвы - Верхняя Волга - Волго-Балтийский канал могут быть связаны в акватории Рыбинского водохранилища.
- Порты Северо-Запада включая Санкт-Петербург – Беломор-Балтийский канал – Волго-Балтийский канал связаны в акватории Онежского озера.
- Нижняя Кама – Верхняя Кама – бассейн реки Белая связаны в районе Камбарки.



Рис. 7. Схемы увязки контейнерных линий по Y-модели.

Примером стыковки грузопотоков может быть вариант доставки минеральных удобрений с участием водного транспорта по маршруту Тольятти – Морские порты Ирана с перевалкой в Саратовском Речном порту и Астраханском Морском порту. [8] Формирование транспортно-логистических систем доставки грузов с участием смешанного железнодорожного – водного сообщения возможно через узловые порты или порты - спутники и будет осуществляться барже-буксирными составами. Затраты на перевозку груза сократятся.

Заключение

Организационно-технологические и экономические вопросы развития речных перевозок контейнерных и других генеральных грузов неоднократно рассматривались учеными отрасли. Они касались обоснования характеристик контейнерных судов, грузовых терминалов, условий организации контейнерных линий, взаимодействия участников транспортно-логистических схем доставки генеральных грузов, создания мультимодальных логистических центров и т.д.

Таким образом, предложенная модель позволит на внутренних водных путях организовать работу барже-буксирных составов для перевозки небольших партий грузов в контейнерах за счет регулярных грузовых линий которые обеспечивают связанность как узловых портов так и портов – спутников на всем пространстве европейской части РФ.

Исходя из потенциального количества перевозок и типов судов, для каждого узлового речного порта и порта - спутника рассчитывается интервал отправления речных судов. В прогноз переключения на водный транспорт включаются только те потоки, интенсивность которых обеспечивает интервал отправления речных судов менее 6 суток, что позволяет организовать регулярную грузовую контейнерную линию [11]

Список литературы

1. Приказ Министерства транспорта РФ от 3 марта 2014 г. N 58 "Об утверждении Правил пропуска судов через шлюзы внутренних водных путей"
2. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 02.08.2018 № 282 "Об утверждении Правил движения и стоянки судов в Волжском бассейне внутренних водных путей Российской Федерации".
3. Приказ Министерства транспорта РФ от 19 января 2018 г. N 19 "Об утверждении Правил плавания судов по внутренним водным путям"
4. Железнов С.В., Лисин А.А., Уртминцев Ю.Н. Грузовая база речных перевозок на Единой глубоководной системе Европейской части России: современное состояние, проблемы и перспективы развития. (монография). Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2022. 137 с.
5. Толкач проекта 00443. Режим доступа <https://www.aosk.ru/press-center/news/osk-razrabotala-kontseptualnyy-proekt-rechnogo-buksira-tolkacha-novogo-pokoleniya/> (дата обращения: 19.02.2025)
6. Толкач проекта ТСК-395 Режим доступа: https://www.korabel.ru/news/comments/buksirnyy_teplohod-tolkach_proekta_tsk_395.html (дата обращения: 19.02.2025)
7. Баржа проекта RBD-4608 Режим доступа: https://www.korabel.ru/news/comments/zaversheno_stroitelstvo_serii_barzh_proekta_rbd4608.html (дата обращения: 19.02.2025)
8. 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 №73. 2022. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/article/view/279/246> (дата обращения: 20.02.2025)
9. Нюркин С.И. Нюркин О.С. Перспективы формирования логистически организованной системы транспортировки генеральных грузов речным транспортом в условиях

- развитой транспортной сети // Научные проблемы водного транспорта №80. 2023. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/article/view/517/419> (дата обращения 20.02.2025)
10. Уртминцев Ю.Н. Современные способы тягового обслуживания речных грузовых составов // Научные проблемы водного транспорта №81. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/article/view/545/450> (дата обращения 20.02.2025)
 11. Железнов С.В. Лисин А.А. Уртминцев Ю.Н. Оценка потенциала переключения части автомобильных контейнерных перевозок из морских портов на внутренний водный транспорт // Научные проблемы водного транспорта №72. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/article/view/280/221> (дата обращения 20.02.2025)
 12. Коршунов Д.А. Наседкина Е.С. Актуальные задачи развития речных контейнерных перевозок // Научные проблемы водного транспорта №80. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/article/view/515/417> (дата обращения 20.02.2025)
 13. Платов А.Ю. Платов Ю.И. Концепция системы оперативного планирования отправления грузов из портов на внутренних водных путях // Научные проблемы водного транспорта №71. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/article/view/254/200> (дата обращения 20.02.2025)

References

1. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. 58 dated March 3, 2014 "On Approval of the Rules for Passing Ships through Locks of Inland Waterways"
2. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated 08/02/2018 No. 282 "On Approval of the Rules of Movement and Parking of Vessels in the Volga Basin of the Inland Waterways of the Russian Federation".
3. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. 19 dated January 19, 2018 "On Approval of the Rules of Navigation of Vessels on Inland Waterways"
4. Zheleznov S.V., Lisin A.A., Urtmintsev Yu.N. Cargo base for river transportation on the Unified deep-water system of the European part of Russia: current state, problems and development prospects. (monograph). N. Novgorod : Publishing House of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "VGUVT", 2022. 137 p.
5. Pusher tug project 00443 Access mode: <https://www.aosk.ru/press-center/news/osk-razrabotala-kontseptualnyy-proekt-rechnogo-buksira-tolkacha-novogo-pokoleniya/> (date of request: 19.02.2025)
6. Pusher tug project TSK-395 Access mode: https://www.korabel.ru/news/comments/buksirnyy_teplohod-tolkach_proekta_tsk_395.html (date of request: 19.02.2025)
7. Barge project RBD-4608 Access mode: https://www.korabel.ru/news/comments/zaversheno_stroitelstvo_serii_barzh_proekta_rbd4608.html (date of request: 19.02.2025)
8. Goncharova, N.V. Analysis of the current state of transportation of mineral fertilizers and justification of the choice of transport and logistics delivery systems involving inland waterway transport // Scientific problems of water transport No. 73. 2022. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/article/view/279/246> (date of reference: 02/20/2025)
9. Nyurkin S.I. Nyurkin O.S. Prospects for the formation of a logistically organized system for transporting general cargo by river transport in a developed transport network // Scientific problems of water transport No. 80. 2023. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/article/view/517/419> (accessed 02/20/2025)
10. Urtmintsev Yu.N. Modern methods of traction maintenance of river freight trains // Scientific problems of water transport No.81. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/article/view/545/450> (accessed 02/20/2025)
11. Zheleznov S.V. Lisin A.A. Urtmintsev Yu.N. Assessment of the potential for switching part of automobile container transportation from seaports to inland waterway transport // Scientific problems of water transport No. 72. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/article/view/280/221> (accessed 02/20/2025)
12. Korshunov D.A. Nasedkina E.S. Actual tasks of river container transportation development // Scientific problems of water transport No. 80. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/article/view/515/417> (accessed 02/20/2025)

13. Platov A.Y. Platov Yu.I. The concept of an operational planning system for the departure of goods from ports on inland waterways // Scientific Problems of Water transport No. 71.
URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/article/view/254/200> (accessed 02/20/2025)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Авдонин Дмитрий Иванович, аспирант кафедры управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: awdonin.dmitrij2017@yandex.ru

Dmitry I. Avdonin, Postgraduate Student of the Department of Transport Management, Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, 603951, Nesterova str., 5, e-mail: awdonin.dmitrij2017@yandex.ru

Лисин Александр Александрович, к.т.н. 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

Alexander A. Lisin, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Department of Transport Management, Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, 603951, Nesterova str., 5, e-mail: lisin_aa@mail.ru

Статья поступила в редакцию 17.02.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 17.02.2025; published online 20.06.2025.

УДК 004.942

DOI:10.37890/jwt.vi83.598

Выбор модели турбулентности при математическом моделировании работы гребного винта

С.С. Герасимов

ORCID: 0009-0008-6699-4243

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

Аннотация: математическое моделирование широко применяется для решения прикладных задач в области безопасности судоходства. Моделирование движения судна включает в себя моделирование работы гребного винта, создающего гидродинамические процессы в области кормы. Качество результатов моделирования зависит от используемых математических моделей. Турбулентность, возникающая при вращении гребного винта, описывается с помощью специальной модели турбулентности. В настоящее время существует три основные математические модели турбулентности: $k - \varepsilon$, $k - \omega$ и уравнения напряжений Рейнольдса. Выбор наиболее подходящей модели может быть осуществлен с помощью проведения численного эксперимента. В данной статье представлены результаты численного эксперимента, направленного на сравнение вышеуказанных моделей турбулентности, и их анализ на примере решения конкретной задачи.

Ключевые слова: безопасность судоходства, модель турбулентности $k - \varepsilon$, модель турбулентности $k - \omega$, математическое моделирование, вычислительная гидродинамика, уравнения напряжений Рейнольдса

Choosing a turbulence model for mathematical modeling of propeller operation

Sergey S. Gerasimov

ORCID: 0009-0008-6699-4243

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract: mathematical modeling is widely used to solve applied problems in the field of shipping safety. Modeling of ship motion includes modeling the operation of the propeller, which creates hydrodynamic processes in the stern area. The quality of the modeling results depends on the mathematical models used. Turbulence arising from the rotation of the propeller is described using a special turbulence model. Currently, there are three main mathematical models of turbulence: $k - \varepsilon$, $k - \omega$ and Reynolds stress equations. The most suitable model can be selected by conducting a numerical experiment. This article presents the results of a numerical experiment aimed at comparing the above turbulence models and their analysis using the example of solving a specific problem.

Keywords: shipping safety, $k - \varepsilon$ turbulence model, $k - \omega$ turbulence model, mathematical modeling, computational fluid dynamics, Reynolds stress equations

Введение

В связи с активным развитием математического моделирования, имеющим междисциплинарный характер, оно нашло широкое применение при решении прикладных задач в области безопасности судоходства. Отправной точкой при моделировании движения судов является моделирование работы (вращения) гребного

винта. Качество разрешения гидродинамических процессов, возникающих при вращении гребного винта, зависит от многих факторов, таких как размер объёмной сетки, дискретизации по времени (шаг по времени), корректности задания граничных условий, а также от выбора модели турбулентности. В настоящее время существует и активно применяется несколько основных моделей турбулентности, каждая из которых имеет свои специфические особенности и рекомендации к применению [1][2][3][4]. В данной работе рассматривается применение трёх моделей турбулентности:

1. Модель турбулентности $k - \varepsilon$;
2. Модель турбулентности $k - \omega$ [5];
3. Модели для турбулентных напряжений Рейнольдса [6].

Оценить сходимость результатов математического моделирования, полученных при использовании каждой из вышеуказанных моделей турбулентности, предполагается с помощью проведения численного эксперимента, подробное описание которого представлено в следующем разделе. Чистота эксперимента обеспечивается идентичностью всех прочих параметров рассматриваемых математических моделей [7].

Материалы и методы

Для выполнения математического моделирования работы (вращения) гребного винта необходим выбор математической модели для описания турбулентных эффектов в жидкости. В данной работе рассматриваются три математические модели: M1, M2 и M3, в которых были использованы $k - \varepsilon$, $k - \omega$ модели турбулентности и модель осредненных напряжений по Рейнольдсу соответственно. Все прочие параметры рассматриваемых моделей одинаковы, что обеспечивает чистоту эксперимента. Основные параметры моделей M1, M2 и M3 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики математических моделей

Наименование параметра	M1	M2	M3
Материал	Жидкость	Жидкость	Жидкость
Количество фаз, шт	1	1	1
Тип решателя	Нестационарный неявный	Нестационарный неявный	Нестационарный неявный
Модель турбулентности	$k - \varepsilon$	$k - \omega$	Осреднение по Рейнольдсу
Скорость вращения гребного винта, рад/с	10	10	10
Диаметр гребного винта, м	1,8	1,8	1,8
Тип расчетной сетки	Многогранные ячейки	Многогранные ячейки	Многогранные ячейки
Физическое время расчета, с	6,3	6,3	6,3
Дискретизация по времени, с	0,001	0,001	0,001
Базовый размер расчетной сетки, м	0,13	0,13	0,13

В рассматриваемых математических моделях M1, M2 и M3 установлены специальные индикаторы $V_1 - V_6$, представляющие собой систему произвольных объёмов, равноудаленных друг от друга по глубине на 0,5 м. В каждом из

индикаторов на протяжении всего времени расчета модели фиксируется максимальное значение скорости движения воды v_{max} . Общая схема расположения контрольных индикаторов представлена на рисунке 1.

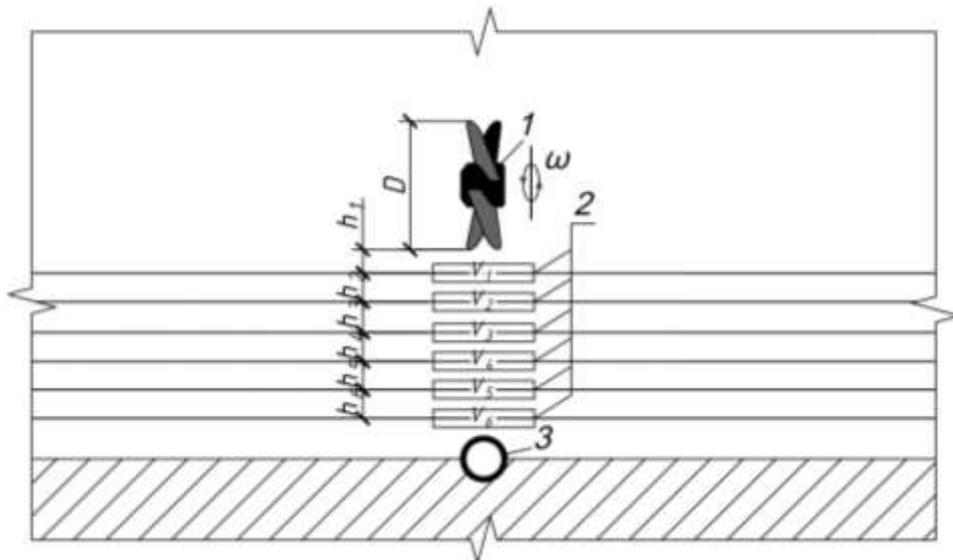


Рис. 1. Общая схема расположения контрольных индикаторов
Условные обозначения: 1 – гребной винт, 2 – контрольные индикаторы, 3 – оголенный МТ

Разработанная математическая модель имитирует вращение четырехлопастного гребного винта с внешним диаметром 1,8 м, не имеющего иных дополнительных линейных и нелинейных перемещений, расположенного в стоячей воде (начальная скорость движения воды равна нулю). За время расчета модели винт совершает 20 полных оборотов вокруг своей оси.

Суть данного численного эксперимента заключается в сравнении значений максимальной скорости v_{max} , полученных при расчете математических моделей М1, М2 и М3, отличающихся между собой только используемой моделью турбулентности. Результаты эксперимента и их анализ представлены в следующем разделе.

Результаты

В процессе расчета моделей М1 и М2 программный комплекс сформировал кривые изменения максимальной скорости v_{max} в каждом из контрольных индикаторов $V_1 - V_6$. Данные кривые для модели М1, М2 и М3 представлены на рисунках 2, 3, 4 соответственно.

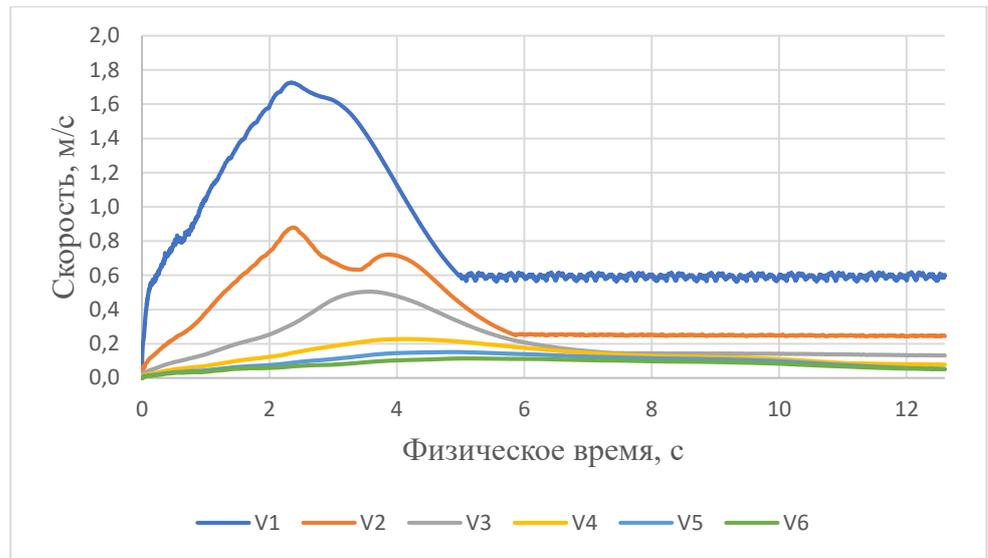


Рис. 2. Изменение максимальной скорости движения воды в контрольных индикаторах ($k - \varepsilon$)

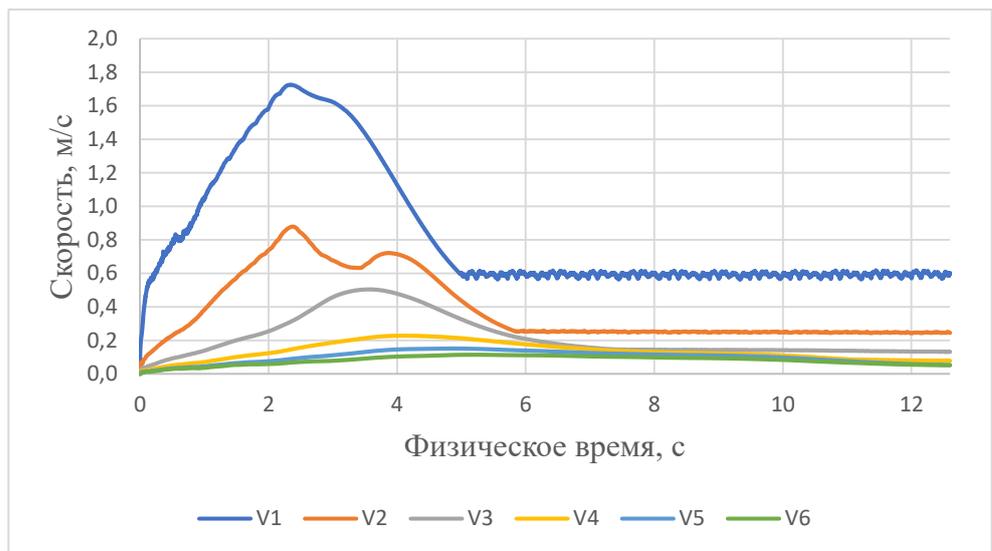


Рис. 3. Изменение максимальной скорости движения воды в контрольных индикаторах ($k - \omega$)

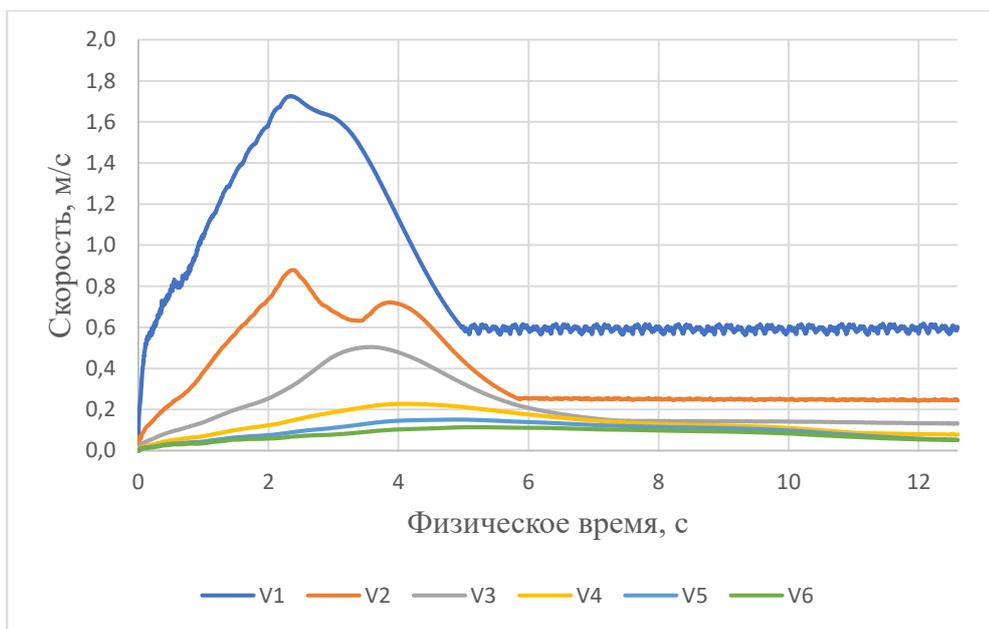


Рис. 4. Изменение максимальной скорости движения воды в контрольных индикаторах (Reynolds stress equation model)

В таблице 2 представлены максимальные значения скорости движения воды, зафиксированные в пределах каждого индикатора по каждой из расчетных моделей.

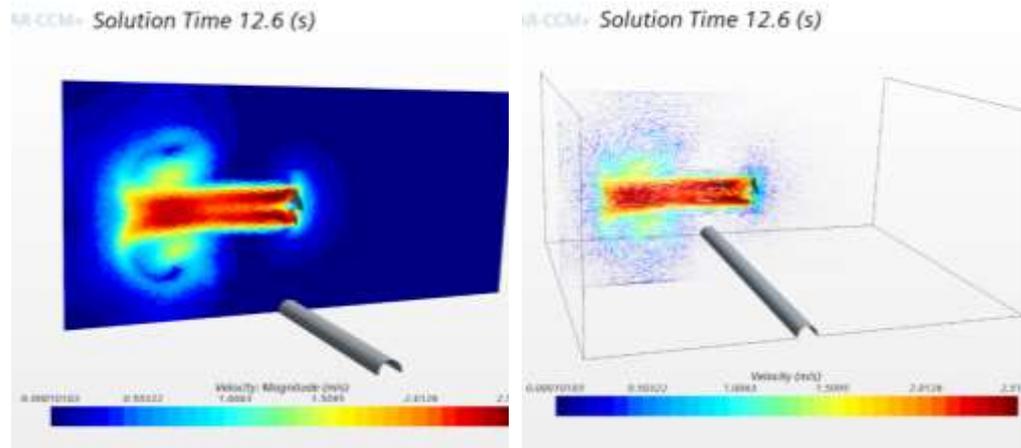
Таблица 2

Максимальные скорости движения воды в контрольных индикаторах

№ индикатора	Скорость движения воды, м/с				
	M1	\Delta M1, M2 , %	M2	\Delta M2, M3 , %	M3
V ₁	1,7258	0,02	1,7255	0,00	1,7255
V ₂	0,8790	0,03	0,8787	0,00	0,8788
V ₃	0,5042	0,04	0,5040	0,03	0,5038
V ₄	0,2274	0,11	0,2276	0,04	0,2275
V ₅	0,1513	0,21	0,1510	0,03	0,1511
V ₆	0,1139	0,03	0,1139	0,01	0,1139
V _{ср}	0,6003	0,02	0,6001	0,00	0,6001

Как видно из таблицы 2, разница в значениях максимальной скорости движения воды составляет самое большее – десятые доли процента. При округлении до целого числа разница составляет 0%. Такой результат свидетельствует о том, что при моделировании вращения гребного винта в условиях данной задачи, при прочих равных условиях, хорошо подходит любая из рассматриваемых моделей турбулентности, на точность моделирования это существенно не влияет.

Визуализация результатов моделирования представлена в виде скоростного поля в скалярной и векторной формах на рисунке 5.



а) скалярная форма

б) векторная форма

Рис. 5. Скалярное и векторное скоростные поля

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что:

1. Учет турбулентных процессов при математическом моделировании работы (вращения) гребного винта в рассматриваемой постановке задачи одинаково хорошо осуществляется с применением каждой из рассматриваемых моделей турбулентности: $k - \varepsilon$, $k - \omega$ или уравнения напряжений Рейнольдса.
2. Все расчетные модели, несмотря на различие используемых моделей турбулентности, имеют устойчивое решение.

Список литературы

1. Patankar S. Numerical methods for solving problems of heat transfer and fluid dynamics / Per. from English. – М.: Energoatomizdat, 1984. – 152 p.
2. Launder, B.E.; Spalding, D.B. (March 1974). "The numerical computation of turbulent flows". Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 3 (2): 269–289. DOI:10.1016/0045-7825(74)90029-2.
3. Bradshaw, P. (1971), An introduction to turbulence and its measurement, Pergamon Press, ISBN 0080166210
4. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method (2nd Edition), H. Versteeg, W. Malalasekera; Pearson Education Limited; 2007; ISBN 0131274988
5. Wilcox, D. C. (2008), "Formulation of the $k-\omega$ Turbulence Model Revisited", AIAA Journal, 46 (11): 2823–2838, Bibcode:2008AIAAJ..46.2823W, doi:10.2514/1.36541
6. Launder, Brian Edward and Reece, G Jr and Rodi, W (1975). "Progress in the development of a Reynolds-stress turbulence closure". Journal of Fluid Mechanics. 68 (3): 537–566. Bibcode:1975JFM...68.537L. doi:10.1017/s0022112075001814. S2CID 14318348.
7. Организация и математическое планирование эксперимента: учебное пособие / Ю.В. Юдин, М.В. Майсурадзе, Ф.В. Водолазский. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018.— 124 с.

References

1. Patankar S. Numerical methods for solving problems of heat transfer and fluid dynamics / Per. from English. – М.: Energoatomizdat, 1984. – 152 p.

2. Launder, B.E.; Spalding, D.B. (March 1974). "The numerical computation of turbulent flows". *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 3 (2): 269–289. DOI:10.1016/0045-7825(74)90029-2.
3. Bradshaw, P. (1971), *An introduction to turbulence and its measurement*, Pergamon Press, ISBN 0080166210
4. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method (2nd Edition)*, H. Versteeg, W. Malalasekera; Pearson Education Limited; 2007; ISBN 0131274988
5. Wilcox, D. C. (2008), "Formulation of the $k-\omega$ Turbulence Model Revisited", *AIAA Journal*, 46 (11): 2823–2838, Bibcode:2008AIAAJ..46.2823W, doi:10.2514/1.36541
6. Launder, Brian Edward and Reece, G Jr and Rodi, W (1975). "Progress in the development of a Reynolds-stress turbulence closure". *Journal of Fluid Mechanics*. 68 (3): 537–566. Bibcode:1975JFM....68..537L. doi:10.1017/s0022112075001814. S2CID 14318348.
7. *Organization and mathematical planning of an experiment: a tutorial* / Yu. V. Yudin, M. V. Maisuradze, F. V. Vodolazsky. - Ekaterinburg: Publishing house of the Ural. University, 2018. - 124 p

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

Герасимов Сергей Сергеевич, аспирант кафедры водных путей и гидротехнических сооружений, «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: Gerasimov.s.sergeevich@mail.ru

Sergey S. Gerasimov, postgraduate student of the Department of Waterways and Hydraulic Structures, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 21.02.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 21.02.2025; published online 20.06.2025.

УДК 656.61.052

DOI: 10.37890/jwt.vi83.596

Концептуальные основы математической формализации усталости судоводителей

С.В. Ермаков

ORCID: 0009-0009-7814-8877

П.А. Моисеев

ORCID: 0009-0003-7959-4824

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия

Аннотация. Усталость судоводителей, как и всех остальных членов экипажа – резонансная и одновременно нерешённая до сих пор проблема современного морского судоходства, следствием которой является снижение эффективности труда и увеличение вероятности морских аварий и инцидентов. В статье проанализированы некоторые частные и общие подходы к оценке и контролю усталости, представлены принципы математической формализации усталости судоводителей, обоснована классификация усталости, включающая в себя три вида усталости - краткосрочную, среднесрочную и долгосрочную, записаны функции усталости в общем виде. Каждая из функций содержит три категории аргументов: время, аргументы, влияющие только на конкретный вид усталости и аргументы, определяющие взаимосвязь видов усталости. В табличном виде приведено объяснение аргументов последней категории, определяющих принципиальное отличие предложенного способа формализации. Представленная концепция в результате своего развития может трансформироваться в полноценный метод управления усталостью судоводителей, учитывающий не только накопление усталости во время вахты вследствие недостаточности сна и отдыха, но и многие другие, в том числе долговременные, факторы усталости. Для обеспечения такого развития в заключение статьи сформулирован открытый перечень задач для продолжения исследования.

Ключевые слова: усталость, оценка и контроль, классификация, математическая формализация, функции усталости.

Conceptual basis for the mathematical formalization of navigator fatigue

Sergey V. Ermakov

ORCID: 0009-0009-7814-8877

Pavel A. Moiseev

ORCID: 0009-0003-7959-4824

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

Abstract. Fatigue of navigators, as well as of all other crew members, is a resonant and at the same time still unresolved problem of modern maritime shipping, the consequence of which is a decrease in labor efficiency and an increase in the likelihood of maritime accidents and incidents. The article analyzes some private and general approaches to fatigue assessment and control, presents the principles of mathematical formalization of navigators' fatigue, substantiates the classification of fatigue, including three types of fatigue - short-term, medium-term and long-term, and records the fatigue functions in general. Each of the functions contains three categories of arguments: time, arguments affecting only a specific type of fatigue and arguments determining the relationship between types of fatigue. An explanation of the arguments of the last category, determining the fundamental difference of the proposed formalization method, is given in tabular form. The presented concept, as a

result of its development, can be transformed into a full-fledged method of fatigue management for navigators, considering not only the accumulation of fatigue during a watch due to insufficient sleep and rest, but also many other, including long-term, factors of fatigue. To ensure such development, an open list of tasks for continuing the research is formulated in the conclusion of the article.

Keywords: fatigue, assessment and control, classification, mathematical formalization, fatigue functions.

Введение

Усталость – это многогранное, разноплановое явление, всегда влекущее за собой проблему или её угрозу. Так, усталость металла – ослабление структуры материала под воздействием циклических нагрузок. Естественно, что в настоящей работе интерес представляет усталость персонала морских судов и, в частности, судоводителей. Впрочем, следует заметить, что определение, данное для усталости металла, очень хорошо коррелирует с усталостью человека.

К симптомам усталости относятся: повышенная тревожность, снижение кратковременной памяти, замедление времени реакции, снижение эффективности работы, падение мотивации, снижение бдительности, повышенная вариабельность в выполнении работы, повышенное количество ошибок пропуска и пр.

Влияние усталости имеет несколько проявлений.

Во-первых, усталость приводит к снижению способности воспринимать и обрабатывать информацию и ухудшению памяти, а уставшие судоводители становятся более восприимчивы к ошибкам памяти, под которыми понимаются когнитивные искажения, связанные с влиянием физиологических и психологических факторов на содержание или воспроизведение ранее усвоенной информации.

Во-вторых, при выполнении сложных задач судоводитель выбирает стратегию с высокой степенью риска, так как её реализация, как правило, требует меньше усилий.

В-третьих, усталость влияет на способность судоводителя оперативно и грамотно принимать решения, связанные с обеспечением безопасности мореплавания.

Усталость вахтенных помощников капитана как одна из основных причин морских аварий подтверждается множеством отчётов о расследованиях и констатируется во многих исследованиях (например, в [1-3]).

Для иллюстрации проблемы усталости здесь будет вполне уместно обратиться к некоторым результатам интервьюирования авторами моряков.

Так, выпускник БГАРФ Х., прибыл в своё время на государственную итоговую аттестацию будучи уже старпомом после месяца контракта. где он претерпел 26 (!) заходов. Думается, что количество часов отдыха и сна здесь было пренебрежимо мало.

Другой выпускник БГАРФ С., наработывая ценз в должности матроса, участвовал в буксировочной операции у берегов Чили. Нарушив технику безопасности, он допустил то, что буксировочный трос обмотал ему ногу, буксир пошёл, опрокинул С. и потащил его в клюз. Своевременная реакция окружающих предотвратила более тяжкие последствия, чем множественные переломы ноги. С одной стороны, виноват С., с другой – для матроса момент буксировки пришёлся на начало третьих бессонных суток, в течении которых он выполнял свои функциональные обязанности.

И третий случай, который заслуживает внимания, касается исследования стрессоустойчивости судоводителей, которое проводили авторы несколько лет назад. Результат теста о низкой стрессоустойчивости один старший помощник прокомментировал примерно так: «У меня не может быть такого результата, потому что за рейс я проделываю огромный объём работы, сплю не более двух часов в сутки и живу практически на таблетках».

Конечно, всё это частные случаи, а, точнее, выборка из большой генеральной совокупности, но даже она подтверждает, что усталость моряка – неотъемлемая часть его работы, наличие которой крайне негативно сказывается на безопасности мореплавания во всех её аспектах.

Усталость моряков, системы её контроля и предупреждения являются предметом многих исследований и одним из ключевых объектов правового регулирования Международной морской организации (ИМО). Вместе с тем, проконтролировать фактическое исполнение всех требований и рекомендаций по предупреждению усталости, которые распространяются на судовые экипажи, практически невозможно [4]. При этом каких-либо эффективных инструментов оперативного (в том числе и дистанционного) мониторинга усталости членов экипажа до настоящего момента не предложено также, как и комплексных математических моделей усталости, учитывающих все значимые для её накопления факторы и кумулятивный эффект усталости, проявляющийся не только в некоторый краткосрочный период, а практически на протяжении всей карьеры судоводителя.

Таким образом, целью настоящего исследования является создание первичной (концептуальной) принципиальной базы для математической формализации усталости судоводителей.

Современная методология оценки и предотвращения усталости

Стремление морской отрасли в борьбе с усталостью имеет несколько парадоксальный характер. Морские регуляторы, судовладельцы, профсоюзы постоянно декларируют, что усталость на борту – это обычное явление и необходимо приложить совместные усилия для решения этой проблемы. Одновременно с этим экипажи сокращаются (точнее, уже сокращены до минимума), а судоводительский состав постоянно отягощается всё большим количеством административных обязанностей, необходимостью вести немалое количество документов, причём связанных не только с движением груза, но и с так называемой «бумажной безопасностью».

Ситуация на первый взгляд видится тупиковой, а аварийность, связанная с усталостью моряков, в лучшем случае не будет увеличиваться. Одновременно исследования в области усталости моряков не статичны, а, наоборот, имеют достаточно интенсивный характер, а результаты этих исследований представленным большим количеством публикаций.

Так, в работе [5] описана математическая модель, построенная на методах теории вероятности и статистики и предназначенная для вероятностной оценки появления «усталостного» сбоя при несении специалистом ходовой вахты. Разработанный инструмент позиционируется авторами как математическая модель «накопленная усталость – эффект».

В статье [2] приведен не только анализ самого феномена «усталость», но и результаты опроса моряков по причинам усталости. Очевидно, что основными причинами названы сон, его низкое качество и недостаточное время на отдых. Эти причины выбрали 78, 75 и 76% моряков соответственно. Шум и вибрацию в качестве причины указали 64% респондентов. Больше половины опрошенных (57%) включили в число причин некачественное и однообразное питание, 42% – нарушение суточного ритма, 38% – стресс, а 36% – избыточные рабочие нагрузки.

В числе причин усталости были указаны и причины психологического характера. Так, 27% моряков считают, что усталость среди прочего провоцируется монотонностью и однообразием деятельности. У 22% респондентов катализатором усталости является тоска по близким, а для 19% опрошенных моряков детерминанта усталости – агрессивная морская среда.

Общепринятого определения усталости не существует. Обычно ее описывают через причину как некоторое состояние частичной или полной потери

работоспособности, возникающее в результате продолжительной физической или умственной работы, длительных периодов волнения, воздействия неблагоприятных условий окружающей среды или потери сна. Авторы [2] сформулировали свое определение усталости, представив её как «снижение эффективности выполнения профессиональной деятельности, ослабление работоспособности и производительности труда моряка, его физических и умственных способностей под воздействием чрезмерной нагрузки на судне, неполноценного отдыха, который следует за периодом умственной или физической активности»

Многие модели, созданные с целью управлению усталостью, увязывают в качестве аргументов сон, активность (бодрствование), усталость и эффективность выполнения задач. Так, ещё в конце прошлого века Стивен Хёрш (США) разработал простую гомеостатическую модель усталости, запрограммировал её и получил возможность постоянной индикации производительности. После ряда экспериментов по оценке взаимосвязи производительности и дозы-реакции сна, С. Хёрш уточнил численные оценки параметров модели, расширил её исходную структуру и получил программный продукт, сейчас известный аббревиатурой SAFTE (Sleep, Activity, Fatigue, Task Effectiveness) и предназначенный для предотвращения усталости [6].

Другая модель – представленная в [7] – предназначена для прогнозирования продолжительности нерегулярного сна и бодрствования. В этой модели работоспособность (в терминах авторов – бодрость) как функция от времени выражается в условных единицах и включает в себя две составляющих – циркадную S и гомеостатическую S' (рис. 1). Циркадная составляющая определяется циркадными ритмами – так называемыми биологическими часами, т.е. закономерным колебанием функций организма человека в течение суток. Гомеостатическая составляющая характеризует затраты внутренних ресурсов (резервов) организма на компенсацию влияния на него внешних факторов. Циркадная кривая S имеет синусоидальную форму с пиком во второй половине дня. В свою очередь гомеостатическая кривая, имея локальный максимум в момент последнего пробуждения, убывает по экспоненте, а с момента начала сна становится уже возрастающей экспоненциальной функцией. Авторы установили, что на практике показателю 3 соответствует крайняя сонливость, показателю 14 – максимальная работоспособность, а показатель 7 является для сонливости пороговым.

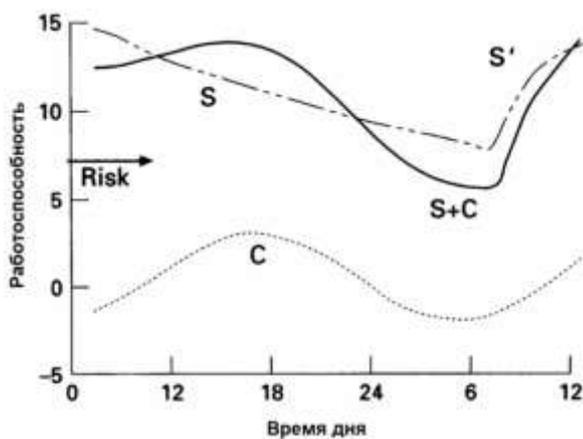


Рис. 1. Модель нерегулярного сна и бодрствования

Кривые, изображённые на рис. 1, аналитически описываются следующим образом:

$$S = (S_a - L)e^{-0,0353t_1} + L = 11,6e^{-0,0353t_1} + 2,4;$$

$$S' = U - (U - S_r)e^{-0,381t_2} = 14,3 - (14,3 - S_r)e^{-0,381t_2};$$

$$C = M \cos[\pi(t_3 - p)/12] = 2,5 \cos[\pi(t_3 - p)/12],$$

где $S_a = 14$ – значение S на момент пробуждения;

$L = 2,4$ – низшая асимптота;

S_r – значение S на момент засыпания;

$U = 14,3$ – высшая асимптота;

$M = 2,5$ – амплитудное значение циркадной функции;

p – акрофаза – момент времени, соответствующий максимуму циркадной функции;

t_1 – время, прошедшее с момента последнего пробуждения;

t_2 – время, прошедшее с момента начала сна;

t_3 – время суток.

Astronaut Scheduling Assistant – одна из моделей, которую использует Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA) для предупреждения усталости и регулирования соотношения периодов сна и бодрствования. В основе этой модели лежит комплекс математических уравнений, численных методов и программных процедур, которые на основе сна и его потери (острой и хронической), дневного сна, циркадных ритмов и воздействия света, прогнозируют нейрорепродуктивную производительность и оценивают оптимальность суточного графика [8].

Многие морские администрации разработали и внедрили собственные руководства по предупреждению усталости моряков. При этом в некоторых из них присутствует инструмент для количественной оценки риска появления усталости. Так, например, Австралийское управление по безопасности на море, тривиально определив основным фактором усталости недостаток сна, предлагает для оценки риска усталости информацию, представленную в табл. 1 [9, 10].

Таблица 1

Оценка риска усталости

Фактор риска	Низкий уровень риска	Значительный уровень риска	Повышенный уровень риска
Количество рабочих часов в течение 7 дней	<50	50-70	>70
Количество рабочих часов (за сутки)	<9	10-12	>12
Часы отдыха (между периодами работы)	>12	7-12	7<
Количество последовательных ночных дежурств за 7 дней (с 21:00 до 09:00)	0-1	2-3	>4
Количество коротких перерывов около 15 минут (в рабочее время)	>3	1-2	0
Величина длительного непрерывного отдыха (за 7 дней) в часах	>30	24-30	<24

В статье [11] описывается использование программного обеспечения «Martha» для анализа уровня сонливости члена экипажа в зависимости от его режима работы и

отдыха. Программное обеспечение «Martha» основано на математической модели, сформированной в рамках исследования «Horizon Project», которая описывает суточную динамику сонливости членов экипажа в зависимости от индивидуальных режимов сна и несения вахты. Уровень сонливости оценивается по шкале Каролинска (KSS), которая содержит 9 значений. Считается, что при значении $KSS > 5$ член экипажа испытывает сниженное пробуждение, а при $KSS > 8$ присутствует риск засыпания во время выполнения работы.

Очевидно, что утомляемость ВПК в первую очередь проявляется в ночное время. Если текущая навигационная ситуация заставляет судоводителя постоянно оценивать безопасность расхождения с другими судами и при необходимости маневрировать, то связанная с такой ситуацией эмоциональная нагрузка в некоторой степени поддерживает у ВПК необходимое состояние бодрствования и обеспечивает саморегуляцию борьбы с усталостью. Однако монотонное течение вахты может поспособствовать тому, что судоводитель потеряет самоконтроль и заснёт от усталости. С целью обеспечения состояния ВПК, позволяющего ему бороться с усталостью и сном, были созданы и внедрены на суда системы контроля дееспособности вахтенного помощника капитана (СКДВП). Впрочем, такое название технического средства вряд ли следует признать удачным, т.к. к контролю дееспособности как таковой эта система имеет опосредованное отношение. Это больше система сигнализации (своеобразный будильник), чему доказательство – англоязычный вариант названия – Bridge navigational watch alarm system.

Вместе с тем, следует заметить, что применение технических средств является одним из основных направлений предупреждения усталости моряков. Так, авторы работ [1, 12] видят перспективным использование для целей диагностики функционального состояния моряка измерение и изучение его электронно-фотонного излучения методом газоразрядной визуализации. Таким образом, предлагается оценивать умственную усталость, а через неё редукцию функционального состояния.

В итоге становится очевидно, что проблема существующей методологии управления риском усталости моряков заключается в многообразии методов, отсутствии единого системного подхода к контролю и предупреждению усталости. Для построения системы контроля за усталостью необходимо систематизировать модели, классифицировать их по различным признакам и проанализировать каждую из моделей на предмет их ограничений и применимости в потенциальных системах контроля за усталостью.

Вместе с тем, сверхвысокая сложность задачи и недостаток знаний пока не привели к какому-либо эффективному решению, и усталость моряков остаётся, как и прежде, обычным и широко распространённым явлением. Здесь требуется инновационное комплексное решение, и поддержка его реализации всеми заинтересованными сторонами, и причём не только декларативная. Подобное решение может быть построено на математической основе, априори не является тривиальным и в итоге будет представлять результат исследования, включающего в себя последовательность этапов, первый из которых – постановочный – представлен в настоящей работе.

Классификация усталости и основа её математической формализации

При изучении усталости специалистов в разных отраслях используются различные классификации усталости. В соответствии с наиболее распространённой из них усталость может быть физической, умственной и эмоциональной (при этом очевидна практически аксиоматическая взаимосвязь между этими видами усталости) [4]. По другой классификации усталость бывает либо острой, либо хронической. При этом острая усталость – это нормальное явление, которое исчезает после периода отдыха, а хроническая усталость возникает в результате длительного накопления

острой усталости. Традиционный механизм компенсации (сон) практически не работает для хронической усталости, а эффективен только для острой усталости.

В целях настоящего исследования предлагается следующая классификация усталости:

- краткосрочная (вахтенная) усталость – усталость вахтенного помощника, накапливающаяся в течении одной вахты;
- среднесрочная (рейсовая) усталость – усталость судоводителя, накапливающаяся в течение рейса;
- долгосрочная (карьерная) усталость – усталость судоводителя, накапливающаяся в процессе карьеры.

Кроме того, принимаем за аксиому, что все виды усталости взаимосвязаны. Так, например, в конце рейса, когда среднесрочная усталость максимальна, краткосрочная усталость также накапливается быстрее.

Каждый вид усталости определяется совокупностью факторов. В свою очередь, каждый фактор может быть дефрагментирован на некоторые факторные единицы таким образом, чтобы каждая единица могла быть оценена количественно.

Следует заметить, что вместе с факторными единицами, определяющими рост усталости, функции усталости должны содержать и факторные единицы противоположного знака, обеспечивающие релаксацию физического и психоэмоционального состояния судоводителя.

С точки зрения математической формализации усталости факторная единица является аргументом как функции, позволяющей оценить количественно сам фактор (что в рамках настоящей работы не так важно), так и функции усталости определённого вида. В итоге каждый из видов усталости можно формализовать в виде общих функциональных зависимостей, как это представлено в табл. 2.

Таблица 2

Функции усталости

Краткосрочная усталость	$X = f_x(x_y, x_z, x_1, x_2, \dots, x_n, t_x)$
Среднесрочная усталость	$Y = f_y(y_x, y_z, y_1, y_2, \dots, y_m, t_y)$
Долгосрочная усталость	$Z = f_z(z_x, z_y, z_1, z_2, \dots, z_k, t_z)$

В зависимостях, представленных в табл. 2:

x_i – аргументы или факторные единицы краткосрочной усталости,

y_i – аргументы или факторные единицы среднесрочной усталости,

z_i – аргументы или факторные единицы долгосрочной усталости,

t_x – время, прошедшее сначала вахты,

t_y – время, прошедшее сначала рейса,

t_z – время, прошедшее сначала карьеры.

Несмотря на то, что среди задач, решаемых в рамках настоящей статьи, не присутствовала идентификация факторных единиц, некоторые предложения по ним представлены далее.

Так, признавая необходимость принимать к учёту соотношение «работа – отдых» и циркадные ритмы, в число факторных единиц краткосрочной усталости следует добавить интенсивность трафика, эргономику мостика, уровень автоматизации процессов судовождения и гидрометеорологические факторы (в первую очередь, волнение).

В число аргументов функции среднесрочной усталости необходимо включить частоту судозаходов, среднюю продолжительность одного перехода, качество питания, оценку быта и микроклимата, среднесуточный интернет-трафик, предоставляемый моряку (качественный интернет для члена экипажа морского судна, месяцами находящегося вдали от берега, является одним из источников его работоспособности).

Функция долгосрочной усталости, напрямую связанная с таким понятием как «эмоциональное выгорание», среди своих аргументов должна содержать отношение общего времени нахождения в море к совокупному времени межрейсовых периодов, а также среднюю продолжительность рейса.

Исходя из принятой выше аксиомы, что все виды усталости взаимосвязаны друг с другом (или, иными словами, определяют друг друга) в число аргументов представленных в табл. 2 функций включены аргументы $x_y, x_z, y_x, y_z, z_x, z_y$, смысл которых пояснён в табл. 3.

Так, например, x_y – это аргумент, определяющий влияние на усталость в течении одной ходовой навигационной вахты усталости, накопленной на протяжении рейса.

Функции X, Y, Z схематичны изображены на рис. 2. На этом рисунке:

- не показаны межвахтовые и межрейсовые периоды;
- вид функций выбран произвольно, исключительно для наглядной визуализации предлагаемой концепции;
- значения $X_{кр}, Y_{кр}$ и $Z_{кр}$ – подлежащие дальнейшему обоснованию критические значения функции усталости;
- функции вахтовой и рейсовой усталости условно показаны на моменты времени, относящиеся к началу, середине и концу рейса (карьеры).

Таблица 3

Пояснение взаимозависимых аргументов

	X	Y	Z
X	<i>Краткосрочная (вахтовая) усталость</i>	x_y : аргумент, определяющий влияние на усталость в течение одной навигационной вахты усталости, накопленной на протяжении рейса	x_z : аргумент, определяющий влияние на усталость в течение одной навигационной вахты усталости, накопленной на протяжении карьеры (влияние эмоционального выгорания)
Y	y_x : аргумент, определяющий кумулятивное (накапливающееся с начала рейса) влияние особенностей несения ходовой навигационной вахты на рейсовую усталость (на накопление усталости с течением времени)	<i>Среднесрочная (рейсовая) усталость</i>	y_z : аргумент, определяющий влияние имеющейся степени эмоционального выгорания на рейсовую усталость (на накопление усталости с течением рейса)

Z	Z_x : аргумент, определяющий кумулятивное (накапливающееся с начала карьеры) влияние особенностей несения ходовой навигационной вахты на степень эмоционального выгорания	Z_y : аргумент, определяющий кумулятивное (накапливающееся с начала карьеры) влияние особенностей каждого рейса на степень эмоционального выгорания	Долгосрочная (карьерная) усталость
-----	---	---	------------------------------------

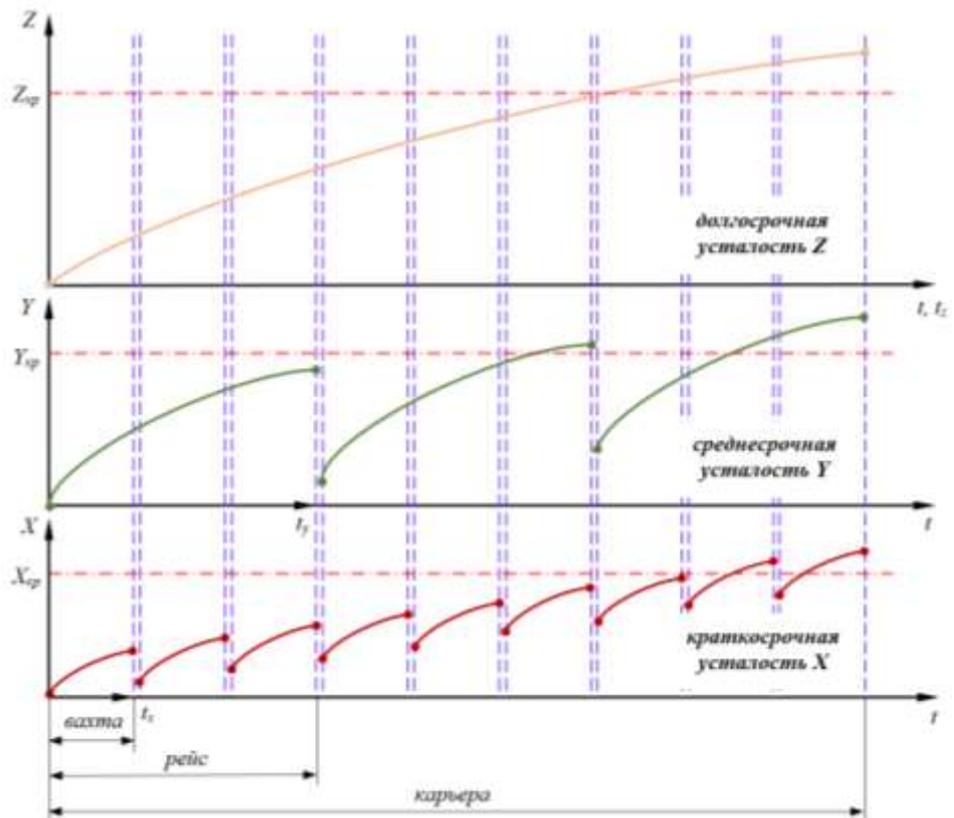


Рис. 2. Схематическое изображение функций усталости

Представленная в общем виде и обоснованная на концептуальном уровне математическая формализация усталости является ничем иным, как плацдармом для дальнейших исследований, задачами которого являются:

- формирование полных перечней аргументов или факторных единиц для каждого вида усталости;
- обоснование методик количественной оценки каждой факторной единицы (при отсутствии таковых);
- обоснование шкал оценивания усталости и конкретизация функциональных зависимостей;
- обоснование критических значений усталости каждого вида, а также мероприятий и рекомендаций в двух направлениях: по уменьшению градиента

усталости для предупреждения критических значений и для случая, когда усталость того или иного вида уже достигла или превысила своего критического значения.

При решении этих задач необходимо будет принять во внимание следующее:

- функции краткосрочной (вахтовой) и среднесрочной (рейсовой) усталости обладают свойством нестационарности в том смысле, что они зависят как от величины временного отрезка (длительности вахты, длительности рейса), так и от того, где именно на временной оси происходит их оценка;
- временной градиент среднесрочной (рейсовой) усталости в межвахтовый период будет меньше, чем в течение вахты также, как и градиент долгосрочной (карьерной) усталости в межрейсовый период.

Заключение

Что же, всё-таки, такое усталость? Явление? Феномен? Диагноз? Неотъемлемая часть морского социума? В любом случае, природа человеческая такова, что усталость в его деятельности будет присутствовать всегда, точнее, периодически появляться после того, как продолжительность непрерывной работы человека при отсутствии отдыха и, в частности, сна достигнет некоторой «критической массы».

В настоящей работе усталость рассмотрена в контексте обоснованной классификации на краткосрочную (вахтовую), среднесрочную (рейсовую) и долгосрочную (карьерную) усталость. При чём принципиально то, что все эти виды усталости взаимосвязаны. Так, краткосрочная усталость при прочих равных условиях накапливается в течении вахты быстрее на пятом месяце рейса, чем на первом, т.е. когда среднесрочная усталость ещё только начинает появляться. Сюда же как катализатор можно добавить долгосрочную усталость – эмоциональное выгорание влияет и на долгосрочную и на среднесрочную усталость.

«Измерение утомляемости затруднено, поскольку утомляемость представляет собой совокупность субъективного восприятия, производительности и физиологического функционирования. Отсутствие универсального инструмента для измерения утомляемости затрудняет исследования, нацеленные на то, чтобы связать утомляемость с результатами для здоровья и безопасности» [13].

Несмотря на скептицизм этой цитаты, она, всё-таки, имеет «мягкий» характер – используется слово затруднено, а не невозможно. Самый банальный инструмент измерений ощущений, чувств и т.п. основан на двоичной системе – «устал – не устал». Но насколько эта система проста, настолько и бесполезна, точнее польза ее в первичной приближённой субъективной оценки усталости.

Однако в настоящей работе с учётом приведённой выше классификации и аксиоматической взаимосвязи видов усталости были сформированы функции усталости. Или иными словами, результатом работы является классификация усталости и обоснованная на концептуальном уровне её математическая формализация.

Список литературы

1. Каретников В.В. Козик С.В., Соколова И.А. Исследование влияния усталости судоводителя на процесс обеспечения безопасности судоходства // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2017. Т. 9, № 2. С. 272-279. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-272-279.
2. Томилин А.Н., Боран-Кешишьян А.Л., Томилина С.Н., Яворская Д.О. К вопросу об усталости персонала судов как одной из существенных причин аварий на транспортных судах // Эксплуатация морского транспорта. 2020. № 3(96). С. 15-23. DOI: 10.34046/aumsuomt96/3.
3. Ермаков С.В., Моисеев П.А. Использование глобальной интегрированной информационной системы ИМО для исследования суточного распределения навигационных аварий // Морские интеллектуальные технологии. 2021. № 4-4(54). С. 80-86. DOI: 10.37220/МІТ.2021.54.4.011.

4. Григорьев Н.Н., Сигаев Д.Б. Формы и эффективность международной морской организации (ИМО) при борьбе с усталостью моряков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2017. Т. 9. № 3. С. 506–515. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-506-515
5. Дживо К.Ф. Модель психоэмоциональных аспектов в судовождении и их влияние на качество принятия управленческих решений при несении вахты // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2020. № 60-61. С. 113-122.
6. Hursh, Steven & Redmond, Daniel & Johnson, Michael & Thorne, David & Belenky, Gregory & Balkin, Thomas & Storm, William & Miller, James & Eddy, Douglas. (2004). Fatigue Models for Applied Research in Warfighting. Aviation, space, and environmental medicine. 75. A44-53
7. Akerstedt T, Folkard S. Predicting duration of sleep from the three process model of regulation of alertness. *Occup Environ Med.* 1996 Feb;53(2):136-41. doi: 10.1136/oem.53.2.136.
8. Whitmire, Alexandra & Leveton, Lauren & Barger, Laura & Brainard, George & Dinges, David & Klerman, Elizabeth & Shea, Camille. (2009). Risk of Performance Errors Due to Sleep Loss, Circadian Desynchronization, Fatigue, and Work Overload Risk of Performance Errors due to Sleep Loss, Circadian Desynchronization, Fatigue, and Work Overload. Evidence-Based Review by NASA Behavioral Health and Performance Program
9. Australian Maritime Safety Authority. Fatigue Guidelines-Managing and Reducing the Risk of Fatigue at Sea 2020. P.1-50.
10. Моисеев П.А., Ермаков С.В. Анализ опыта морской администрации Австралии по управлению риском усталости моряков // Новые стратегии и технологии морского судоходства и промысла: Материалы Первой национальной научно-технической конференции, Калининград, 25 февраля 2022 года / Отв. за выпуск Т.С. Станкевич. Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. С. 53-56.
11. Шошин А.Р. Шкала сонливости Каролинска: применение модели «Martha» для предварительной оценки состояния членов навигационной вахты // Транспортное дело России. 2023. № 3. С. 142-146. DOI: 10.52375/20728689_2023_3_142.
12. Шалякин М.А., Лютко С.В. Новые методы управления усталостью экипажа судна. Богатство России: Сборник докладов, Москва, 06–08 декабря 2017 года. Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2018. С. 29-31.
13. Сыпало А.С. Усталость моряков в вопросах обеспечения безопасности мореплавания. Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли: материалы VII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Владивосток, 26 ноября 2021 года / Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет. Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2022. С. 379-384.

References

1. Karetnikov V.V. Kozik S.V., Sokolova I.A. Issledovanie vliyaniya ustalosti sudovoditelya na protsess obespecheniya bezopasnosti sudokhodstva [Influence of fatigue skipper on ensuring security of navigation] // *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova.* 2017. Т. 9, № 2. pp. 272-279. (In Russ). DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-272-279.
2. Tomilin A.N., Boran-Keshish'yan A.L., Tomilina S.N., Yavorskaya D.O. K voprosu ob ustalosti personala sudov kak odnoi iz sushchestvennykh prichin avarii na transportnykh sudakh [On the issue of ship personnel fatigue as one of the significant causes of accidents on transport vessels] // *Ehkspluatatsiya morskogo transporta.* 2020. № 3(96). pp. 15-23. (In Russ). DOI: 10.34046/aumsuomt96/3.
3. Ermakov S.V., Moiseev P.A. Ispol'zovanie global'noi integrirovannoi informatsionnoi sistemy IMO dlya issledovaniya sutochnogo raspredeleniya navigatsionnykh avarii [Use of the IMO global integrated shipping information system to study the daily distribution of navigation accidents] // *Morskie intellektual'nye tekhnologii.* 2021. № 4-4(54). pp. 80-86. (In Russ). DOI: 10.37220/MIT.2021.54.4.011.
4. Grigor'ev N.N., Sigaev D.B. Formy i ehffektivnost' mezhdunarodnoi morskoi organizatsii (IMO) pri bor'be s ustalost'yu moryakov [Forms and effectiveness of imo in seamen fatigue mitigation] // *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova.* 2017. Т. 9. № 3. pp. 506–515. (In Russ). DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-506-515.

5. Dzhivo K.F. Model' psikhoehmotsional'nykh aspektov v sudovozhdenii i ikh vliyanie na kachestvo prinyatiya upravlencheskikh reshenii pri nesanii vakhty [Model of psychoemotional aspects in navigation and their influence on the quality of decision-making management while watchkeeping] // *Nauchno-tehnicheskii sbornik Rossiiskogo morskogo registra sudokhodstva*. 2020. № 60-61. (In Russ). pp. 113-122.
6. Hursh, Steven & Redmond, Daniel & Johnson, Michael & Thorne, David & Belenky, Gregory & Balkin, Thomas & Storm, William & Miller, James & Eddy, Douglas. (2004). *Fatigue Models for Applied Research in Warfighting*. Aviation, space, and environmental medicine. 75. A44-53
7. Akerstedt T, Folkard S. Predicting duration of sleep from the three process model of regulation of alertness. *Occup Environ Med*. 1996 Feb;53(2):136-41. doi: 10.1136/oem.53.2.136.
8. Whitmire, Alexandra & Leveton, Lauren & Barger, Laura & Brainard, George & Dinges, David & Klerman, Elizabeth & Shea, Camille. (2009). Risk of Performance Errors Due to Sleep Loss, Circadian Desynchronization, Fatigue, and Work Overload Risk of Performance Errors due to Sleep Loss, Circadian Desynchronization, Fatigue, and Work Overload. Evidence-Based Review by NASA Behavioral Health and Performance Program
9. Australian Maritime Safety Authority. *Fatigue Guidelines-Managing and Reducing the Risk of Fatigue at Sea 2020*. P.1-50.
10. Moiseev P.A., Ermakov S.V. Analiz opyta morskoi administratsii Avstralii po upravleniyu riskom ustalosti moryakov [Analysis of the experience of the Australian maritime administration in managing the risk of fatigue of seamen]. *Novye strategii i tekhnologii morskogo sudokhodstva i promysla: Materialy Pervoi natsional'noi nauchno-tehnicheskoi konferentsii, Kaliningrad, 25 fevralya 2022 goda / Otv. za vypusk T.S. Stankevich*. Kaliningrad: Izd-vo BGARF FGBOU VO «KGTU», 2022. (In Russ). pp. 53-56.
11. Shoshin A.R. Shkala sonlivosti Karolinska: primenenie modeli «Martha» dlya predvaritel'noi otsenki sostoyaniya chlenov navigatsionnoi vakhty [Karolinsk drowsiness scale: application of the Martha model for preliminary assessment of the members of the navigational watch] // *Transportnoe delo Rossii*. 2023. № 3. (In Russ). pp. 142-146. DOI: 10.52375/20728689_2023_3_142.
12. Shalyakin M.A., Lyutko S.V. Novye metody upravleniya ustalost'yu ehkipazha sudna [New methods for managing ship crew fatigue]. *Bogatstvo Rossii: Sbornik dokladov, Moskva, 06–08 dekabrya 2017 goda*. Moskva: Moskovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet imeni N.Eh. Baumana (natsional'nyi issledovatel'skii universitet), 2018. (In Russ). pp. 29-31.
13. Sypalo A.S. Ustalost' moryakov v voprosakh obespecheniya bezopasnosti moreplavaniya [Fatigue of seafarers in matters of safety of navigation]. *Kompleksnye issledovaniya v rybokhozyaistvennoi otrasli: materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh, Vladivostok, 26 noyabrya 2021 goda / Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi tekhnicheskii rybokhozyaistvennyi universitet. Vladivo-stok: Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi tekhnicheskii rybokhozyaistvennyi universitet, 2022. (In Russ). pp. 379-384.*

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ермаков Сергей Владимирович, к.т.н., директор Морского института, Калининградский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «КГТУ»), 236029, г. Калининград, ул. Молодёжная, 6, e-mail: sv.ermakov@bgarf.ru

Sergey V. Ermakov, Ph.D. in Engineering Science, Nautical Institute Director, Kaliningrad State Technical University, 6, Molodeznaya str., Kaliningrad, 236029

Моисеев Павел Алексеевич, преподаватель кафедры судовождения и безопасности мореплавания, аспирант Морского института, Калининградский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «КГТУ»), 236029, г. Калининград, ул. Молодёжная, 6, e-mail: pamoiseev182@gmail.com

Pavel A. Moiseev, Lecturer of Navigation and Maritime Safety Department, Nautical Institute Postgraduate Student, Kaliningrad State Technical University, 6, Molodeznaya str., Kaliningrad, 236029

Статья поступила в редакцию 03.03.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 03.03.2025; published online 20.06.2025.

УДК 656.62.052.4

DOI: 10.37890/jwt.v83.597

Математическое моделирование процесса перевода судна с поворота заданного радиуса на прямолинейную траекторию

В.И. Тихонов

ORCID: 0000-0002-3147-0668

Ю.В. Бажанкин

ORCID: 0000-0001-8720-218X

И.М. Осокин

ORCID: 0000-0002-5988-6745

В.А. Лобанов

ORCID: 0000-0002-0931-7317

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

Аннотация. Данная статья описывает математическую модель неустановившегося криволинейного движения судна на повороте реки. Основными компонентами модели являются безразмерные угловая и линейная скорости, угол дрейфа по центру масс судна, курс, продольное и поперечное смещение центра масс судна, угол крена. Предлагаемая математическая модель в сочетании с алгоритмом управления позволяют получить следующие параметры: угол перекладки рулевого органа на установившейся циркуляции (повороте), угол упреждения начала маневрирования, угол перекладки рулевого органа в сторону противоположную повороту, при необходимости время задержки руля на борту и угол одерживания. Эти параметры необходимы для перевода судна с криволинейной траектории заданного радиуса на прямолинейный участок пути. До начала расчётов с использованием предлагаемой модели и алгоритма управления подсчитываются параметры движения судна на установившейся циркуляции (повороте). К этим параметрам относятся безразмерные угловая и линейная скорости, угол перекладки средства управления, угол дрейфа, угол крена. Результаты, получаемые по итогам расчётов, могут закладываться в систему управления средствами навигации и маневрирования автономного судна, а также в судоводительские тренажёры.

Ключевые слова: криволинейное движение судна, алгоритм управления, угол перекладки, радиус поворота, угол дрейфа, угол упреждения, угол одерживания, линейная скорость, автономное судно.

Mathematical modelling of the ship transfer from a turn of a given radius to a straight line

Vadim I. Tikhonov

ORCID: 0000-0002-3147-0668

Yuriy V. Bazhankin

ORCID: 0000-0001-8720-218X

Igor M. Osokin

ORCID: 0000-0002-5988-6745

Vasily A. Lobanov

ORCID: 0000-0002-0931-7317,

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. This paper describes a mathematical model of unsteady curvilinear motion of a vessel on a river bend. The main components of the model are dimensionless angular and linear velocities, drift angle at the vessel's centre of mass, heading, advance and transfer of

the vessel's centre of mass and roll angle. The proposed mathematical model in combination with the control algorithm allows to obtain the following parameters: the rudder angle of the steady circulation (turn), the angle of manoeuvre commencement anticipation, the rudder angle to the side opposite to the turn, if necessary, the time of rudder delay and the angle of checking helm. These parameters are necessary for transferring the vessel from a curvilinear path of a given radius to a straight line. Before commencement of calculations using the proposed model and control algorithm, the parameters of the vessel motion on the steady circulation (turn) are calculated. These parameters include dimensionless angular and linear velocities, control shifting angle, drift angle, roll angle. The results obtained from the calculations can be incorporated into the control system of fully autonomous vessel, as well as into ship simulators.

Keywords: curvilinear vessel motion, control algorithm, rudder angle, turning radius, drift angle, anticipation angle, holding angle, linear velocity, autonomous vessel.

Введение

Исследования, направленные на создание математических моделей движения различных типов судов при определённых условиях плавания, начались ещё в середине прошлого столетия. На данный момент эта тема для исследований является одной из наиболее актуальных в области судовождения. Во многом это связано с кратно возросшим интересом к вопросу создания и внедрения судов различной степени автономности со стороны государств и Международной морской организации (ИМО). Несмотря на большое количество различных публикаций по данной тематике [1-8] вопрос математического моделирования перевода судна с криволинейной траектории заданного радиуса на прямолинейную траекторию практически не был затронут.

Расчёт исходных параметров

Для осуществления математического моделирования процесса перевода судна с поворота некоторого радиуса R на прямолинейную траекторию в первую очередь необходимо рассчитать параметры криволинейного движения судна на установившейся циркуляции (повороте). Безразмерная угловая скорость судна $\bar{\omega}_R$ вычисляется по выражению [9]:

$$\bar{\omega}_R = \frac{L}{R}.$$

Здесь L – расчётная длина судна.

Далее находится угол крена на установившейся циркуляции θ_R [9]:

$$\theta_R = 22\bar{m}Fr_0^2\bar{\omega}_R e^{-1,6\bar{\omega}_R},$$

где $\bar{m} = \frac{2\delta B}{L}$ – безразмерная масса судна;

δ – коэффициент полноты водоизмещения судна;

B – расчётная ширина судна;

$Fr_0 = \frac{v_0}{\sqrt{gL}}$ – число Фруда;

v_0 – скорость прямолинейного движения судна перед началом маневрирования;

g – ускорение свободного падения.

Для определения угла дрейфа β_R на установившейся циркуляции (повороте) подсчитываются безразмерные коэффициенты [9], которые учитывают:

- влияние крена на гидродинамические характеристики судна

$$A_{x_1} = \frac{|\theta|L}{16T\delta^2} (\sin \bar{q}_{Hx} \cos \bar{q}_{Hx} + \sin \bar{q}_{Kx} \cos \bar{q}_{Kx});$$

$$\bar{A}_{1\theta} = \frac{2B}{T} (\delta_H \bar{l}_H \sin \bar{q}_{Hy} \cos \bar{q}_{Hy} + \delta_K \bar{l}_K \sin \bar{q}_{Ky} \cos \bar{q}_{Ky});$$

$$\bar{A}_{2\theta} = \frac{B}{T} (\delta_H (0,25\sigma_H^2 - \bar{l}_{ц.н}^2) \sin \bar{q}_{Hy} \cos \bar{q}_{Hy} - \delta_K (0,25\sigma_K^2 - \bar{l}_{ц.к}^2) \sin \bar{q}_{Ky} \cos \bar{q}_{Ky});$$

$$\bar{B}_{1\theta} = \bar{A}_{2\theta};$$

$$\bar{B}_{2\theta} = \frac{2B}{3T} [\delta_H (0,125\sigma_H^3 - \bar{l}_{ц.н}^3) \sin \bar{q}_{Hy} \cos \bar{q}_{Hy} + \delta_K (0,125\sigma_K^3 - \bar{l}_{ц.к}^3) \sin \bar{q}_{Ky} \cos \bar{q}_{Ky}];$$

- действующие на судовой корпус усилия циркуляционной природы

$$A_{x_3} = \frac{\beta_M (\sin^2 \bar{q}_{Hx} - \sin^2 \bar{q}_{Kx})}{4\delta};$$

$$A_1 = 2 (\bar{l}_H \sin \bar{q}_{Hy} \cos \bar{q}_{Hy} - \bar{l}_K \sin \bar{q}_{Ky} \cos \bar{q}_{Ky});$$

$$A_2 = (0,25\sigma_H^2 - \bar{l}_{ц.н}^2) \sin \bar{q}_{Hy} \cos \bar{q}_{Hy} + (0,25\sigma_K^2 - \bar{l}_{ц.к}^2) \sin \bar{q}_{Ky} \cos \bar{q}_{Ky};$$

$$A'_2 = \bar{m}k'_{11}; \quad B_1 = A_2;$$

$$B_2 = \frac{2}{3} [(0,125\sigma_H^3 - \bar{l}_{ц.н}^3) \sin \bar{q}_{Hy} \cos \bar{q}_{Hy} - (0,125\sigma_K^3 - \bar{l}_{ц.к}^3) \sin \bar{q}_{Ky} \cos \bar{q}_{Ky}];$$

$$B'_2 = \bar{m}k'_{26};$$

$$k'_{11} = \frac{\delta_H \bar{l}_H \cos^2 \bar{q}_{Hy} + \delta_K \bar{l}_K \cos^2 \bar{q}_{Ky}}{2\delta};$$

$$k'_{26} = \frac{\delta_K (0,25\sigma_K^2 - \bar{l}_{ц.к}^2) \cos^2 \bar{q}_{Ky} - \delta_H (0,25\sigma_H^2 - \bar{l}_{ц.н}^2) \cos^2 \bar{q}_{Hy}}{4\delta};$$

- усилия отрывной природы

$$A_{x_0} = \frac{\beta_M (A_{\gamma_H} \cos^2 \bar{q}_{Hx} + A_{\gamma_K} \cos^2 \bar{q}_{Kx})}{4\delta};$$

$$A''_2 = \frac{B}{L} (\delta_H \bar{l}_H A_{\gamma_H} \cos^2 \bar{q}_{Hy} - \delta_K \bar{l}_K A_{\gamma_K} \cos^2 \bar{q}_{Ky});$$

$$A_3 = \bar{l}_H A_{\gamma_H} \sin^2 \bar{q}_{Hy} + \bar{l}_K A_{\gamma_K} \sin^2 \bar{q}_{Ky} + \bar{l}_{ц} A_{\gamma_{ц}};$$

$$A_4 = (0,25\sigma_H^2 - \bar{l}_{ц.н}^2) A_{\gamma_H} \sin^2 \bar{q}_{Hy} - (0,25\sigma_K^2 - \bar{l}_{ц.к}^2) A_{\gamma_K} \sin^2 \bar{q}_{Ky} + (\bar{l}_{ц.н}^2 - \bar{l}_{ц.к}^2) A_{\gamma_{ц}};$$

$$A_5 = \frac{1}{3} [(0,125\sigma_H^3 - \bar{l}_{ц.н}^3)A_{\gamma_H} \sin^2 \bar{q}_{Hy} + (0,125\sigma_K^3 - \bar{l}_{ц.к}^3)A_{\gamma_K} \sin^2 \bar{q}_{Ky} + (\bar{l}_{ц.н}^3 + \bar{l}_{ц.к}^3)A_{\gamma_{ц}}];$$

$$B_2'' = \frac{B}{2L} [\delta_H(0,25\sigma_H^2 - \bar{l}_{ц.н}^2)A_{\gamma_H} \cos^2 \bar{q}_{Hy} + \delta_K(0,25\sigma_K^2 - \bar{l}_{ц.к}^2)A_{\gamma_K} \cos^2 \bar{q}_{Ky}];$$

$$B_3 = 0,5A_4; \quad B_4 = 2A_5;$$

$$B_5 = \frac{1}{4} [(0,0625\sigma_H^4 - \bar{l}_{ц.н}^4)A_{\gamma_H} \sin^2 \bar{q}_{Hy} + (\bar{l}_{ц.н}^4 - \bar{l}_{ц.к}^4)A_{\gamma_{ц}} - (0,0625\sigma_K^4 - \bar{l}_{ц.к}^4)A_{\gamma_K} \sin^2 \bar{q}_{Ky}];$$

$$A_{\gamma_H} = \cos^2 \bar{\gamma}_H; \quad A_{\gamma_K} = \cos^2 \bar{\gamma}_K; \quad A_{\gamma_{ц}} = \cos^2 \bar{\gamma}_{ц};$$

- усилия вязкостной природы

$$\bar{A}_{3V} = \frac{\delta B}{T};$$

$$\bar{A}_{4V} = \frac{B}{T} [\delta_H(0,25\sigma_H^2 - \bar{l}_{ц.н}^2) - \delta_K(0,25\sigma_K^2 - \bar{l}_{ц.к}^2) + \delta_{ц}(\bar{l}_{ц.н}^2 - \bar{l}_{ц.к}^2)];$$

$$\bar{A}_{5V} = \frac{B}{3T} [\delta_H(0,125\sigma_H^3 - \bar{l}_{ц.н}^3) + \delta_K(0,125\sigma_K^3 - \bar{l}_{ц.к}^3) + \delta_{ц}(\bar{l}_{ц.н}^3 + \bar{l}_{ц.к}^3)];$$

$$\bar{B}_{3V} = 0,5\bar{A}_{4V}; \quad \bar{B}_{4V} = 2\bar{A}_{5V};$$

$$\bar{B}_{5V} = \frac{B}{4T} [\delta_H(0,0625\sigma_H^4 - \bar{l}_{ц.н}^4) - \delta_K(0,0625\sigma_K^4 - \bar{l}_{ц.к}^4) + \delta_{ц}(\bar{l}_{ц.н}^4 - \bar{l}_{ц.к}^4)];$$

$$\bar{S} = \frac{\Omega}{\delta LB} = 1 + \frac{2T}{\delta B};$$

$$Re_B = \frac{v_y B}{\eta} \approx \frac{0,2v_0 B}{\eta} \approx 153257v_0 B;$$

$$C_{fy} = \frac{0,7434}{\sqrt{Re_B}} + 0,000475;$$

$$K_{Fy} = 1388 \frac{\delta}{\sigma} \sqrt{\frac{\delta(1-\bar{l}_y)T}{L}};$$

$$C_{Vy} = C_{fy} \bar{S} (1 + K_{Fy});$$

$$A_{3V} = C_{Vy} * \bar{A}_{3V}; \quad A_{4V} = C_{Vy} * \bar{A}_{4V}; \quad A_{5V} = C_{Vy} * \bar{A}_{5V};$$

$$B_{3V} = C_{Vy} * \bar{B}_{3V}; \quad B_{4V} = C_{Vy} * \bar{B}_{4V}; \quad B_{5V} = C_{Vy} * \bar{B}_{5V};$$

- усилия, обусловленные волнообразованием

$$A_{3W} = F * A_3; \quad A_{4W} = F * A_4; \quad A_{5W} = F * A_5;$$

$$B_{3W} = F * B_3; \quad B_{4W} = F * B_4; \quad B_{5W} = F * B_5;$$

$$F = \frac{Fr^2L}{100T}$$

Здесь T – расчётная осадка судна;

δ_n, δ_k – коэффициенты полноты водоизмещения кормовой и носовой оконечностей корпуса судна;

$\delta_{\text{ц}}$ – коэффициент полноты водоизмещения цилиндрической вставки;

\bar{l}_n, \bar{l}_k – относительные длины носовой и кормовой оконечностей корпуса;

$\bar{q}_{nx}, \bar{q}_{kx}$ – средние значения курсовых углов нормалей к ватерлиниям в носовой и кормовой оконечностях корпуса, приходящиеся на единицу площади мидельшпангоута;

$\bar{q}_{ny}, \bar{q}_{ky}$ – средние значения курсовых углов нормалей к ватерлиниям в носовой и кормовой оконечностях корпуса, приходящиеся на единицу площади диаметрального батокса;

σ_n, σ_k – коэффициенты полноты носовой и кормовой половин диаметрального батокса;

$\bar{l}_{\text{цн}}, \bar{l}_{\text{цк}}$ – относительные длины цилиндрической вставки в носовой и кормовой половинах корпуса;

$A_{\gamma_n}, A_{\gamma_k}$ – коэффициенты, учитывающие среднее значение снижения нормалей к поверхности обшивки относительно нормалей к ватерлиниям в носовой и кормовой оконечностях корпуса;

$A_{\gamma_{\text{ц}}}$ – коэффициент, учитывающий среднее значение снижения нормалей к поверхности обшивки относительно нормалей к ватерлиниям в области цилиндрической вставки;

$\bar{\gamma}_n, \bar{\gamma}_k$ – снижения нормалей к поверхностям обшивки относительно нормалей к ватерлиниям соответственно в носовой и кормовой оконечностях корпуса;

$\bar{\gamma}_{\text{ц}}$ – снижения нормалей к поверхности обшивки относительно нормалей к ватерлиниям в области цилиндрической вставки корпуса;

Ω – площадь смоченной поверхности корпуса судна;

Re_B – число Рейнольдса при поперечном движении;

$Fr = Fr_0 * \bar{v}$ – число Фруда при циркуляционном движении судна;

\bar{v} – безразмерная линейная скорость судна на циркуляции.

Величины $\bar{l}_n, \bar{l}_k, \bar{l}_{\text{цн}}, \bar{l}_{\text{цк}}, \delta_n, \delta_k, \delta_{\text{ц}}, \Omega, \bar{\gamma}_n, \bar{\gamma}_k, \bar{\gamma}_{\text{ц}}, \bar{q}_{nx}, \bar{q}_{kx}, \bar{q}_{ny}, \bar{q}_{ky}, A_{\gamma_n}, A_{\gamma_k}$ и $A_{\gamma_{\text{ц}}}$ определяются по методике Тихонова В.И. и Хвостова Р.С. [10, 11].

Кроме того, дополнительно определяются следующие коэффициенты [9]:

$$\bar{A}_1 = \bar{A}_{1\theta} + A_1; \bar{A}_2 = \bar{A}_{2\theta} + A_2 - A'_2 - A''_2; \bar{A}_3 = A_3 + A_{3w} + A_{3v};$$

$$\begin{aligned} \bar{A}_4 &= A_4 + A_{4W} + A_{4V}; \quad \bar{A}_5 = A_5 + A_{5W} + A_{5V}; \\ \bar{B}_1 &= \bar{B}_{1\theta} + B_1; \quad \bar{B}_2 = \bar{B}_{2\theta} + B_2 + B'_2 - B''_2; \quad \bar{B}_3 = B_3 + B_{3V} + B_{3W}; \\ \bar{B}_4 &= B_4 + B_{4V} + B_{4W}; \quad \bar{B}_5 = B_5 + B_{5V} + B_{5W}; \\ C_1 &= \bar{A}_1 + 2,1\bar{B}_1; \quad C_2 = \bar{A}_2 + 2,1\bar{B}_2 + \bar{m}; \quad C_3 = \bar{A}_3 + 2,1\bar{B}_3; \\ C_4 &= \bar{A}_4 + 2,1\bar{B}_4; \quad C_5 = \bar{A}_5 + 2,1\bar{B}_5; \\ \rho &= \frac{C_4\bar{\omega}_R - C_1}{2C_3}; \quad q = \frac{(C_2 - C_5\bar{\omega}_R)\bar{\omega}_R}{C_3}. \end{aligned}$$

Тогда значение β_R может быть вычислено по формуле:

$$\beta_R = \rho + \sqrt{\rho^2 + q}.$$

Перекадка средства управления (СУ) на установившейся циркуляции (повороте) δ_R определяется по выражению:

$$\delta_R = \frac{\bar{\kappa}_r \beta_{Ri} - \bar{C}_{mi}}{E_r},$$

где $\bar{\kappa}_r = E_r \kappa_r$;

E_r – эффективность рулевых органов, определяется по методике [12];

κ_r – коэффициент, учитывающий влияние судового корпуса и работающего винта на направление потока воды, набегающего на СУ; определяется по методике [12];

$$\beta_{Ri} = \beta_R + 0,4762\bar{\omega}_R;$$

$$\bar{C}_{mi} = 2,1(\bar{B}_1\beta_R - \bar{B}_2\bar{\omega}_R + \bar{B}_3\beta_R^2 - \bar{B}_4\bar{\omega}_R\beta_R + \bar{B}_5\bar{\omega}_R^2).$$

Определение безразмерной скорости на установившейся циркуляции (повороте) \bar{v}_R производится по методике, предложенной Ю.В. Бажанкиным [13]. На начальном этапе подсчитываются коэффициенты, характеризующие особенности судового движительно-рулевого комплекса (ДРК). Для ДРК открытый гребной винт с расположенным за ним рулём

$$S_1 = S[1 - \sin^2(\theta_r \delta_R)];$$

$$A_r = S_1 A_e; \quad B_r = S_1 B_e \frac{(1-\psi_0)}{D_6}; \quad C_r = S_1 C_e \frac{(1-\psi_0)^2}{D_6^2};$$

$$A_e = A_p(1 - t_B); \quad B_e = B_p(1 - t_B); \quad C_e = C_p(1 - t_B),$$

где $S = \frac{2z_6 D_6^4}{LT}$ – коэффициент;

z_6 – количество винтов;

D_6 – диаметр винта;

θ_r – коэффициент, учитывающий отношение площади диска винта, перекрываемой рулём при гипотетической перекладке последнего на 90° , ко всей площади диска;

A_e, B_e, C_e – коэффициенты аппроксимации для коэффициента полезной тяги K_e гребного винта;

A_p, B_p, C_p – коэффициенты аппроксимации для коэффициента упора K_p гребного винта;

$t_B = 1 - \frac{C_{x0} L T v_0^2}{2z_e K_{p0} n_0^2 D_e^4}$ – коэффициент засасывания винта без насадки;

ψ_0 – коэффициент номинального попутного потока открытого гребного винта.

Для ДРК винт в поворотной насадке

$$\bar{l}_n = l_n / D_e; \quad \theta_n = 1 - a_n \delta_R; \quad S_2 = S[1 - \sin^2(\theta_n \delta_R)];$$

$$A_n = S_2 A'_e; \quad B_n = S_2 B'_e \frac{(1-\psi_f)}{D_e}; \quad C_n = S_2 C'_e \frac{(1-\psi_f)^2}{D_e^2};$$

$$A'_e = A_K(1 - t_K); \quad B'_e = B_K(1 - t_K); \quad C'_e = C_K(1 - t_K).$$

Здесь \bar{l}_n – относительная длина насадки;

a_n – коэффициент регрессии;

ψ_f – коэффициент попутного потока трения при работе комплекса винт – поворотная насадка;

A'_e, B'_e, C'_e – коэффициенты аппроксимации для коэффициента полезного упора K'_e комплекса винт – поворотная насадка;

A_K, B_K, C_K – коэффициенты аппроксимации для упора K_K комплекса винт – поворотная насадка;

$t_K = 1 - \frac{C_{x0} L T v_0^2}{2z_e K_{K0} n_0^2 D_e^4}$ – коэффициент засасывания комплекса винт – поворотная насадка.

Далее составляется и решается квадратное уравнение для определения отношения продольной составляющей линейной скорости v_x к частоте вращения винтов n . Также подсчитывается значение безразмерной частоты вращения винтов \bar{n} . Для случая открытого гребного винта [13]

$$\left(\frac{v_x}{n}\right)^2 + \frac{B_r}{[C_{x0} + \bar{m}(1-k'_{22})\bar{\omega}_R \tan \beta_R / \cos \beta_R + C_r]} \frac{v_x}{n} - \frac{A_r}{[C_{x0} + \bar{m}(1-k'_{22})\bar{\omega}_R \tan \beta_R / \cos \beta_R + C_r]} = 0;$$

$$\bar{n} = \frac{0,37K_{m0} + \sqrt{2,0289K_{m0}^2 + 4,4K_{m0} \left[K_m + \frac{K_p}{2\pi} \lambda_p \sin^2(\theta_r \delta_R) \right]}}{2 \left[K_m + \frac{K_p}{2\pi} \lambda_p \sin^2(\theta_r \delta_R) + 0,43K_{m0} \right]};$$

$$K_{m_0} = A_m - B_m \frac{v_0(1-\psi_0)}{n_0 D_B} - C_m \frac{v_0^2(1-\psi_0)^2}{n_0^2 D_B^2}.$$

Здесь $k'_{22} = \frac{(\delta_H \bar{l}_H \sin^2 \bar{q}_{Hx} + \delta_K \bar{l}_K \sin^2 \bar{q}_{Kx})}{2\delta}$ – коэффициент;

K_{m_0} – номинальный коэффициент момента открытого гребного винта;

K_m – коэффициент момента открытого гребного винта;

λ_p – относительная поступь открытого гребного винта;

A_m, B_m, C_m – коэффициенты аппроксимации для коэффициента момента открытого гребного винта.

Для ДРК винт в поворотной насадке

$$\left(\frac{v_x}{n}\right)^2 + \frac{B_n}{[C_{x_0} + \bar{m}(1-k'_{22})\bar{\omega}_R \tan \beta_R / \cos \beta_R + C_n]} \frac{v_x}{n} - \frac{A_n}{[C_{x_0} + \bar{m}(1-k'_{22})\bar{\omega}_R \tan \beta_R / \cos \beta_R + C_n]} = 0;$$

$$\bar{n} = \frac{0,37K'_{m_0} + \sqrt{2,0289K'^2_{m_0} + 4,4K'_{m_0} \left[K'_m + \frac{K_K}{2\pi} \lambda_K \sin^2(\theta_n \delta_R) \right]}}{2 \left[K'_m + \frac{K_K}{2\pi} \lambda_K \sin^2(\theta_n \delta_R) + 0,43K'_{m_0} \right]};$$

$$K'_{m_0} = A'_m - B'_m \lambda_K - C'_m \lambda_K^2.$$

Здесь K'_{m_0} – номинальный коэффициент момента винта в поворотной насадке;

K'_m – коэффициент момента винта в поворотной насадке;

λ_K – относительная поступь винта в поворотной насадке;

A'_m, B'_m, C'_m – коэффициенты аппроксимации для коэффициента момента винта в поворотной насадке.

Затем подсчитываются значения n и v_x по выражениям:

$$n = \bar{n} n_0; \quad v_x = \left(\frac{v_x}{n}\right) n.$$

На последнем шаге определяются значения линейной скорости v и безразмерной линейной скорости на установившейся циркуляции (повороте) \bar{v}_R :

$$v = \frac{v_x}{\cos \beta_R}; \quad \bar{v}_R = \frac{v}{v_0}.$$

Полученные значения $\bar{\omega}_R, \theta_R, \beta_R, \delta_R$ и \bar{v}_R используются в качестве исходных данных для последующих расчётов.

Описание математической модели и алгоритма управления

Уравнения произвольного криволинейного движения судна на повороте реки имеют следующий вид [14]:

$$m(1 + k_{11}) \frac{dv}{dt} \cos \beta - m \left(1 + k_{11} + 2 \frac{c}{v}\right) v \frac{d\beta}{dt} \sin \beta +$$

$$+ m \left(1 - k'_{22} + 2 \frac{c}{v}\right) v \omega \sin \beta = z_{\theta} P_e (1 - \sin^2 \delta_c) - C_{x_{\Gamma}} \frac{\rho}{2} L T v^2; \quad (1)$$

$$-m(1 + k_{22}) \frac{dv}{dt} \sin \beta - m \left(1 + k_{22} + 2 \frac{c}{v}\right) v \frac{d\beta}{dt} \cos \beta +$$

$$+ m(1 + 2 \frac{c}{v}) v \omega \cos \beta +$$

$$+ mLk_{26} \frac{d\omega}{dt} = C_{y_{\Gamma}} \frac{\rho}{2} L T v^2 - \mu_r [\delta_r - \kappa_r (\beta + \bar{l}_r \bar{\omega})] \frac{\rho}{2} \bar{S}_r \varphi_k^2 v^2; \quad (2)$$

$$J_z \left(1 + k_{66} + \frac{c}{v}\right) \frac{d\omega}{dt} - mLk_{26} \frac{dv}{dt} \sin \beta - mLk_{26} v \frac{d\beta}{dt} \cos \beta =$$

$$= C_{m_{\Gamma}} \frac{\rho}{2} L^2 T v^2 + \mu_r [\delta_r - \kappa_r (\beta + \bar{l}_r \bar{\omega})] \frac{\rho}{2} \bar{S}_r \bar{l}_r L \varphi_k^2 v^2, \quad (3)$$

где m – масса судна;

k_{11}, k_{22} – коэффициенты присоединённых масс;

c – скорость течения;

δ_c – угол выброса струи;

k_{26} – коэффициент присоединённого статического момента;

μ_r – коэффициент пропорциональности между величиной коэффициента подъёмной силы C_{y_r} и эффективным углом атаки α_e ;

\bar{S}_r – приведённая площадь рулевого органа;

φ_k – коэффициент, учитывающий влияние корпуса на скорость потока воды в районе ДРК;

k_{66} – коэффициент присоединённого момента судна.

Коэффициенты $C_{x_{\Gamma}}, C_{y_{\Gamma}}, C_{m_{\Gamma}}$ служат для учёта индивидуальных характеристик погруженной части корпуса и подсчитываются по выражениям [9]:

$$C_{x_{\Gamma}} = [\bar{m} A_{x_0} + C_{V_x} + Fr^2 A_{W_x} \cos^2 \beta] \cos^2 \beta +$$

$$+ \bar{m}^2 A_{x_1} |\sin \beta| \cos \beta + \bar{m} A_{x_3} \sin^2 \beta - \bar{m} k'_{22} |\bar{\omega} \sin \beta|;$$

$$C_{y_{\Gamma}} = C_{y_{\text{цпр}}} + C_{y_{\text{отр}}} + C_{y_V} + C_{y_W} + C_{y_{\theta}} =$$

$$= (A_1 + A_{1_{\theta}}) \sin \beta \cos \beta - (A_2 + A_{2_{\theta}} - A'_2 - A''_2) \bar{\omega} \cos \beta +$$

$$+ (A_3 + A_{3_V}) |\sin \beta| \sin \beta -$$

$$- (A_4 + A_{4_V}) |\bar{\omega}| \sin \beta + (A_5 + A_{5_V}) |\bar{\omega}| \bar{\omega} + A_{3_W} |\sin \beta| \sin^3 \beta -$$

$$\begin{aligned}
 & -A_{4W}|\bar{\omega}| \sin^3 \beta + A_{5W}|\bar{\omega}| \bar{\omega} \sin^2 \beta; \\
 C_{m_\Gamma} &= C_{m_{\text{шп}}} + C_{m_{\text{отр}}} + C_{m_V} + C_{m_W} + C_{m_\theta} = \\
 &= (B_1 + B_{1\theta}) \sin \beta \cos \beta - (B_2 + B_{2\theta} + B_2' - B_2'') \bar{\omega} \cos \beta + \\
 &+ (B_3 + B_{3V}) |\sin \beta| \sin \beta - (B_4 + B_{4V}) |\bar{\omega}| \sin \beta + (B_5 + B_{5V}) |\bar{\omega}| \bar{\omega} + \\
 &+ B_{2W} \bar{\omega} \cos^3 \beta + B_{3W} |\sin \beta| \sin^3 \beta - B_{4W} |\bar{\omega}| \sin^3 \beta.
 \end{aligned}$$

Для случая неустановившегося криволинейного движения коэффициенты, учитывающие процесс волнообразования, рассчитываются по формулам [9]:

$$\begin{aligned}
 A_{W_x} &= \frac{B}{8T} (A_{\gamma_h}^2 \cos^4 \bar{q}_{hx} + A_{\gamma_k}^2 \cos^4 \bar{q}_{kx}); \\
 A_{3W} &= Fr^2 \frac{L}{4T} (\bar{l}_h A_{\gamma_h}^2 \sin^4 \bar{q}_{hy} + \bar{l}_k A_{\gamma_k}^2 \sin^4 \bar{q}_{ky} + \bar{l}_u A_{\gamma_u}^2); \\
 A_{4W} &= Fr^2 \frac{L}{2T} [(0,25\sigma_h^2 - \bar{l}_{uh}^2) A_{\gamma_h}^2 \sin^4 \bar{q}_{hy} - (0,25\sigma_k^2 - \bar{l}_{uk}^2) A_{\gamma_k}^2 \sin^4 \bar{q}_{ky} + \\
 & \quad (\bar{l}_{uh}^2 - \bar{l}_{uk}^2) A_{\gamma_u}^2]; \\
 A_{5W} &= Fr^2 \frac{L}{2T} [(0,125\sigma_h^3 - \bar{l}_{uh}^3) A_{\gamma_h}^2 \sin^4 \bar{q}_{hy} + (0,125\sigma_k^3 - \bar{l}_{uk}^3) A_{\gamma_k}^2 \sin^4 \bar{q}_{ky} + \\
 & \quad (\bar{l}_{uh}^3 + \bar{l}_{uk}^3) A_{\gamma_u}^2]; \\
 B_{2W} &= Fr^2 \frac{B}{4T} [\delta_h (0,25\sigma_h^2 - \bar{l}_{uh}^2) A_{\gamma_h}^2 \cos^4 \bar{q}_{hy} + \delta_k (0,25\sigma_k^2 - \bar{l}_{uk}^2) A_{\gamma_k}^2 \cos^4 \bar{q}_{ky}]; \\
 B_{3W} &= \frac{1}{4} A_{4W}; \quad B_{4W} = \frac{2}{3} A_{5W}.
 \end{aligned}$$

Уравнения (1) – (3) могут быть приведены к безразмерному виду, если выразить линейную скорость v , угловую скорость ω и время t через безразмерные величины \bar{v} , $\bar{\omega}$ и $\bar{\tau}$ соответственно. В этом случае выражения (1) – (3) примут следующий вид:

$$\begin{aligned}
 \bar{m}_1 \frac{d\bar{v}}{d\bar{\tau}} - \bar{m}_{10} \bar{v} \beta \frac{d\beta}{d\bar{\tau}} + b_1 &= 0; \\
 (\bar{m}_4 \bar{\omega} - \bar{m}_2 \beta) \frac{d\bar{v}}{d\bar{\tau}} - \bar{m}_{20} \bar{v} \frac{d\beta}{d\bar{\tau}} + \bar{m}_4 \bar{v} \frac{d\bar{\omega}}{d\bar{\tau}} + b_2 &= 0; \\
 (\bar{m}_3 \bar{\omega} - \bar{m}_4 \beta) \frac{d\bar{v}}{d\bar{\tau}} - \bar{m}_4 \bar{v} \frac{d\beta}{d\bar{\tau}} + \bar{m}_3 \bar{v} \frac{d\bar{\omega}}{d\bar{\tau}} - b_3 &= 0.
 \end{aligned}$$

Здесь $\bar{m}_1 = \bar{m}(1 + k_{11})$; $\bar{m}_{10} = \bar{m} \left(1 + k_{11} + 2 \frac{\bar{c}}{\bar{v}}\right)$; $\bar{m}_{11} = \bar{m} \left(1 - k'_{22} + 2 \frac{\bar{c}}{\bar{v}}\right)$;

$$\bar{m}_2 = \bar{m}(1 + k_{22}); \quad \bar{m}_{20} = \bar{m} \left(1 + k_{22} + 2 \frac{\bar{c}}{\bar{v}}\right); \quad \bar{m}_{21} = \bar{m} \left(1 + 2 \frac{\bar{c}}{\bar{v}}\right);$$

$$\bar{m}_3 = \bar{j} \left(1 + k_{66} + \frac{\bar{c}}{\bar{v}}\right); \quad \bar{m}_4 = \bar{m} k_{26};$$

$$b_1 = (\bar{m}_{11} \bar{\omega} \beta + C_{x_\Gamma}) \bar{v}^2 - z_e (\bar{A}_e \bar{n}^2 - \bar{B}_e \bar{n} \bar{v} - \bar{C}_e \bar{v}^2) (1 - \sin^2 \delta_c);$$

$$b_2 = \{\bar{m}_{21} \bar{\omega} + E_r [\delta_r - \kappa_r (\beta + \bar{l}_r \bar{\omega})] - C_{y_\Gamma}\} \bar{v}^2;$$

$$b_3 = \{C_{m_r} + \bar{l}_r E_r [\delta_r - \kappa_r (\beta + \bar{l}_r \bar{\omega})]\} \bar{v}^2;$$

$\bar{A}_e, \bar{B}_e, \bar{C}_e$ – коэффициенты аппроксимации.

Тогда полная математическая модель неустановившегося криволинейного движения судна будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{d\bar{v}}{d\tau} = \frac{b_1(\bar{m}_4^2 - \bar{m}_3\bar{m}_{20}) + \bar{m}_{10}\beta(b_2\bar{m}_3 + b_3\bar{m}_4)}{\bar{m}_1(\bar{m}_3\bar{m}_{20} - \bar{m}_4^2) + \bar{m}_{10}\beta^2(\bar{m}_2\bar{m}_3 - \bar{m}_4^2)}, \quad (4)$$

$$\frac{d\beta}{d\tau} = \frac{b_1\beta(\bar{m}_2\bar{m}_3 - \bar{m}_4^2) + \bar{m}_1(b_2\bar{m}_3 + b_3\bar{m}_4)}{\bar{v}(\bar{m}_1(\bar{m}_3\bar{m}_{20} - \bar{m}_4^2) + \bar{m}_{10}\beta^2(\bar{m}_2\bar{m}_3 - \bar{m}_4^2))}, \quad (5)$$

$$\frac{d\bar{\omega}}{d\tau} = \frac{(\bar{m}_3\bar{\omega} - \bar{m}_4\beta)(b_1\bar{m}_{20} - b_2\bar{m}_{10}\beta) - (\bar{m}_4\bar{\omega} - \bar{m}_2\beta)(b_1\bar{m}_4 + b_3\bar{m}_{10}\beta) + \bar{m}_1(b_2\bar{m}_4 + b_3\bar{m}_{20})}{\bar{v}(\bar{m}_1(\bar{m}_3\bar{m}_{20} - \bar{m}_4^2) + \bar{m}_{10}\beta^2(\bar{m}_2\bar{m}_3 - \bar{m}_4^2))}, \quad (6)$$

$$\frac{d\psi}{d\tau} = \bar{v}\bar{\omega}; \quad (7)$$

$$\frac{dx_0}{d\tau} = L\bar{v} \cos \varphi; \quad (8)$$

$$\frac{dy_0}{d\tau} = L\bar{v} \sin \varphi; \quad (9)$$

$$\theta = 22 \frac{\bar{m}(\bar{v}v_0)^2}{gR_i}, \quad (10)$$

где ψ – курс судна;

x_0, y_0 – продольное и поперечное смещение ЦМ судна;

$R_i = \frac{L}{\bar{\omega} - \frac{1}{\bar{v}} \frac{d\beta}{d\tau}}$ – текущее значение радиуса кривизны траектории движения судна.

Для перевода судна с поворота заданного радиуса R на прямолинейный участок пути перекладка рулевого органа осуществляется следующим образом:

$$\delta_r = \delta_R - \bar{\omega}_r \tau \quad \text{при} \quad 0 < \tau \leq \tau_{max} + \tau_R;$$

$$\delta_r = -\delta_{max} \quad \text{при} \quad \tau_{max} + \tau_R < \tau \leq \tau_1;$$

$$\delta_r = \delta_R - \bar{\omega}_r (2\tau_1 - \tau_3 - \tau) \quad \text{при} \quad \tau > \tau_1.$$

Здесь τ – текущее безразмерное время;

$\bar{\omega}_r$ – безразмерная угловая скорость перекладки СУ;

τ_{max} – безразмерное время перекладки СУ на максимально допустимый угол;

τ_R – безразмерное время перекладки СУ на угол, необходимый для удержания судна на установившейся циркуляции (повороте);

δ_{max} – максимально допустимый угол перекладки СУ;

τ_1 – безразмерное время перекладки рулевого органа в противоположную повороту сторону (при необходимости включает в себя время задержки СУ на борту τ_3);

τ_2 – безразмерное время одерживания.

Система уравнений (4) – (10) решается численным методом по схеме Рунге-Кутты [15]. Расчёты выполняются до тех пор, пока величина τ не сравняется с τ_1 , и производная $\frac{dR_i}{d\tau}$ не станет равной нулю. В этот момент судно выйдет на некоторую траекторию с радиусом R_i ($|R_i| > R$). Расчёт необходимо выполнять до тех пор, пока не будет выполнено условие

$$|R_i| = \infty \quad \text{или} \quad \bar{\omega} - \frac{1}{v} \frac{d\beta}{d\tau} = 0.$$

При этом, если $R_i < 0$, то время τ_1 необходимо уменьшить на некоторую величину $\Delta\tau$, а если $R_i > 0$ – увеличить на ту же величину. Точность вычислений будет достаточной, если $|R_i| > 100L$.

Заключение

По итогам вычислений определяется алгоритм управления судном для его перевода с поворота некоторого радиуса R на прямолинейную траекторию. В этот алгоритм входят следующие величины: угол δ_R перекладки рулевого органа на установившейся циркуляции (повороте) с радиусом R , угол упреждения $\psi_{од}$ начала маневрирования, угол перекладки рулевого органа $\delta_{од}$ в противоположную повороту сторону, время задержки $t_3^{од}$ руля на борту и угол одерживания $\delta'_{од}$.

Список литературы

1. Великанов П.Г., Артюхин Ю.П. Математическая модель движения колесного судна. Часть I // Экологический вестник научных центров черноморского экономического сотрудничества. 2025. №29. С. 18-28. DOI: <https://doi.org/10.31429/vestnik-22-1-18-28>.
2. Юдин Ю.И., Пашенцев С.В. Коррекция математической модели движения судна с помощью обученной нейросети // Морские интеллектуальные технологии. 2024. №4-1(66). С. 29-40. DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2024.66.4.003>.
3. Ивановский Н.В. Новый способ построения математической модели маневрирования морского судна // Вестник керченского государственного морского технологического университета. Серия: морские технологии. 2024. №3. С. 49-57.
4. Амбросовская Е.Б. Упрощенные математические модели для судовых систем управления движением // Морские интеллектуальные технологии. 2024. №3-1(65). С. 156-165. DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2024.65.3.037>.
5. Марьясов Г.В., Шарлай Г.Н. Математическая модель движения судна при предусмотренной посадке на мель // Вестник Государственного Университета Морского и Речного Флота им. Адмирала С.О. Макарова. 2024. №3. С. 363-369. DOI: <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2024-16-3-363-369>.
6. Пашенцев С.В. Нейронные сети как инструмент совершенствования математической модели движения судна // Вестник МГТУ. Труды Мурманского Государственного Технического Университета. 2023. №4. С. 472-488. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-4-472-488>.
7. Оськин Д.А., Бочарова В.В., Осипов С.В. Математические модели динамики судов, оснащенных винторулевыми колонками // Вестник Астраханского Государственного Технического Университета. Серия: управление, вычислительная техника и информатика. 2023. №3. С. 124-132. DOI: <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2023-3-126-132>.
8. Петрова А.М., Данилов К.Н., Гамс А.В.2, Бочарова В.В. Моделирование прямолинейного движения безэкипажного судна // Молодежь. Наука. Инновации. 2023. Том 1. С. 331-334.
9. Тихонов В.И. Основы теории динамической системы судно-жидкость. Н. Новгород: ФГОУ ВПО ВГАВТ, 2007. 262 с.

10. Хвостов Р.С. Методика обработки теоретического чертежа для определения характеристик эквивалентного аналога судового корпуса //Вестник ВГАВТ. 2011. №29. С. 47-51.
11. Тихонов В.И., Хвостов Р.С. Эквивалентный аналог судового корпуса и его характеристики //Вестник ВГАВТ. 2011. №29. С. 40-47.
12. Тихонов В.И., Бажанкин Ю.В., Осокин И.М., Мухин А.В. Способ оценки поперечных усилий, развиваемых движительно-рулевым комплексом, по результатам циркуляционных испытаний судна //Научные проблемы водного транспорта. 2023. №77(4). С. 252-263. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi77.440>.
13. Бажанкин Ю.В. Метод аналитического определения скорости судна на установившейся циркуляции //Современные проблемы науки и образования. 2012. №1.
14. Тихонов В.И. Уравнения неустановившегося движения судна на повороте реки //Речной транспорт (XXI век). 2011. №3(51). С. 71-73.
15. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1973. 832 с.

References

1. Velikanov P.G., Artyukhin YU.P. Matematicheskaya model' dvizheniya kolesnogo sudna. Chast' I [A mathematical model of the movement of a wheeled vessel. Part I] *Ehkologicheskii vestnik nauchnykh tsentrov chernomorskogo ehkonomicheskogo sotrudnichestva*. 2025, no 29, pp. 18-28. (In Russ). DOI: <https://doi.org/10.31429/vestnik-22-1-18-28>.
2. Yudin YU.I., Pashentsev S.V. Korrektsiya matematicheskoi modeli dvizheniya sudna s pomoshch'yu obuchennoi neiroseti [Correction of the mathematical model of the vessel's movement using a trained neural network] *Morskije intellektual'nye tekhnologii*. 2024, no 4-1(66), pp. 29-40. (In Russ). DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2024.66.4.003>.
3. Ivanovskii N.V. Novyi sposob postroeniya matematicheskoi modeli manevrirovaniya morskogo sudna [A new way to build a mathematical model maneuvering of a marine vessel] *Vestnik kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: morskije tekhnologii*. 2024, no 3, pp. 49-57. (In Russ).
4. Ambrosovskaya E.B. Uproshchennye matematicheskie modeli dlya sudovykh sistem upravleniya dvizheniem [Simplified mathematical models in ship motion control systems] *Morskije intellektual'nye tekhnologii*. 2024, no 3-1(65), pp. 156-165. (In Russ). DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2024.65.3.037>.
5. Mar'yasov G.V., Sharlai G.N. Matematicheskaya model' dvizheniya sudna pri predusmotrennoi posadke na mel' [Mathematical model of the vessel motion during a planned grounding] *Vestnik Gosudarstvennogo Universiteta Morskogo i Rechnogo Flota im. Admirala S.O. Makarova*. 2024, no 3, pp. 363-369. (In Russ). DOI: <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2024-16-3-363-369>.
6. Pashentsev S.V. Neironnye seti kak instrument sovershenstvovaniya matematicheskoi modeli dvizheniya sudna [Neural networks as a tool for improving the mathematical model of ship motion] *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2023, no 4, pp. 472-488. (In Russ). DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-4-472-488>.
7. Os'kin D.A., Bocharova V.V., Osipov S.V. Matematicheskie modeli dinamiki sudov, osnashchennykh vintorulevymi kolonkami [Mathematical models of dynamics of vessels equipped with power propellers] *Vestnik Astrakhanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Seriya: upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika*. 2023, no 3, pp. 124-132. (In Russ). DOI: <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2023-3-126-132>.
8. Petrova A.M., Danilov K.N., Gams A.V.2, Bocharova V.V. Modelirovanie pryamolineinogo dvizheniya bezehkipazhnogo sudna [Simulation of the rectilinear movement of an unmanned vessel] *Molodezh'. Nauka. Innovatsii*. 2023, Tom 1, pp. 331-334. (In Russ).
9. Tikhonov V.I. Osnovy teorii dinamicheskoi sistemy sudno-zhidkost' [Fundamentals of the theory of the dynamic ship-liquid system]. N. Novgorod: FGOU VPO VGAVT, 2007. 262p. (In Russ).
10. Khvostov R.S. Metodika obrabotki teoreticheskogo chertezha dlya opredeleniya kharakteristik ehkvivalentnogo analoga sudovogo korpusa [Method of assessment theoretical drawing for determination characteristics of ship's hull equivalent analog] *Vestnik VGAVT*. 2011, no 29, pp. 47-51. (In Russ).

11. Tikhonov V.I., Khvostov R.S. Ekhivalentnyi analog sudovogo korpusa i ego kharakteristiki [Equivalent analog of ship's hull and its characteristics] Vestnik VGAVT. 2011, no 29, pp. 40-47. (In Russ).
12. Tikhonov V.I., Bazhankin YU.V., Osokin I.M., Mukhin A.V. Sposob otsenki poperechnykh usilii, razvivaemykh dvizhitelem i upravleniem, po rezul'tatam tsirkulyatsionnykh ispytaniy sudna [A method for estimating the transverse forces developed by the propulsion and steering system, based on the results of vessel circulation tests] Russian Journal of Water Transport. 2023, no. 77(4), pp. 252-263. (In Russ). DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi77.440>.
13. Bazhankin YU.V. Metod analiticheskogo opredeleniya skorosti sudna na ustanovivsheysya tsirkulyatsii [Method for analytic calculation of ships speed on its steady turn motion] Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2012, no 1. (In Russ).
14. Tikhonov V.I. Uravneniya neustanovivshegosya dvizheniya sudna na povorote reki [Equations of unsteady motion of the vessel at a river turn] Rezhnoi transport (XXI vek). 2011, no 3(51), pp. 71-73. (In Russ).
15. Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov [Handbook of mathematics for scientists and engineers]. M.: Nauka, 1973. 832p. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Тихонов Вадим Иванович, д.т.н., профессор кафедры судоводжения и безопасности судоходства, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, email: vitnn12@mail.ru

Vadim I. Tikhonov, Dr. Sci. Tech, Professor of department of Navigation and safety of navigation, Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova st., 5

Бажанкин Юрий Владимирович, к.т.н., доцент кафедры судоводжения и безопасности судоходства, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, email: seaman77@mail.ru

Yuriy V. Bazhankin, Ph. D. in Engineering Science, associate professor of department of Navigation and safety of navigation, Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova st., 5

Осокин Игорь Михайлович, аспирант кафедры судоводжения и безопасности судоходства, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, email: abcd1055@mail.ru

Igor M. Osokin, post-graduation student of department of Navigation and safety of navigation, Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova st., 5

Лобанов Василий Алексеевич, профессор кафедры судоводжения и безопасности судоходства, доцент, д.т.н., кафедра судоводжения и безопасности судоходства, 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. Volga State University of Water Transport, 603950, Russia, Nizhny Novgorod, Nesterova st., 5

Статья поступила в редакцию 30.03.2025; опубликована онлайн 20.06.2025.
Received 30.03.2025; published online 20.06.2025.

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 либо gaeva.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 gaeva.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 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, форматруется 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 форматруются 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/punicode-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--plai/>.

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

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

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

Olga A. Raeva, Head of Publishing Department, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: 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**

№83(2), 2025

Формат бумаги 70x180 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 15,19. Уч.-изд. л. 21,26.
Заказ. 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 ООО «Нижегородская типография». Адрес 603000,
Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Варварская, 10/25.